



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
Dipartimento di Scienze della Terra

XIX CICLO

SSd – AGR 14

**DOTTORATO DI RICERCA IN DIFESA E CONSERVAZIONE DEL SUOLO,
PROTEZIONE IDROGEOLOGICA E VULNERABILITA' AMBIENTALE**

**DATABASE GEOGRAFICO E APPLICAZIONI GIS PER L'ANALISI
GEOAMBIENTALE DELLA FASCIA COSTIERA DI PULA (SARDEGNA SO)**

Tesi di: MARCO PUSCEDDU

Coordinatore: Prof. ANTONIO PALA

Tutor: Prof. FELICE DI GREGORIO

Correlatore: Dott. ANDREA SERRELI

2008

Indice

1	Premessa.....	3
1.1	Obiettivi della ricerca.....	3
1.2	Scelta dell'area di indagine.....	3
1.3	Metodologia.....	4
1.3.1	Cos'è un SIT.....	4
1.3.2	La metodologia dei SIT.....	4
1.3.3	Le fasi operative della ricerca.....	6
1.3.3.1	La fase preliminare.....	8
1.3.3.2	La prima fase.....	9
1.3.3.3	La seconda fase.....	10
1.3.3.4	La terza fase.....	10
2	Inquadramento geografico.....	11
2.1	Il <i>dataset</i> topografico.....	11
2.1.1	I dati topografici e quelli derivati (DTM -Digital Terrain Model).....	12
2.2	Il <i>dataset</i> aerofotografico.....	13
2.3	Il <i>dataset</i> di delimitazione e di inquadramento territoriale.....	14
3	Uso e copertura del suolo.....	17
3.1	I dati della Carta dell' Uso del Suolo.....	17
3.2	Il livello informativo dell'uso e della copertura del suolo.....	18
3.3	Il livello informativo dell'uso e della copertura del suolo storico.....	25
4	Assetto geologico.....	35
4.1	Complesso granitoide.....	37
4.2	La formazione del Cixerri.....	37
4.3	Le vulcaniti oligomioceniche.....	39
4.4	Le coperture sedimentarie superficiali del Quaternario.....	39
4.5	Permeabilità delle formazioni geologiche.....	44
5	Geositi.....	47
5.1	Geositi e geomorfositi.....	47
6	Ambiente biologico.....	50
6.1	Copertura vegetale.....	50
6.2	Habitat di rilevante interesse faunistico e floristico vegetazionale.....	53
7	Ambiente umano.....	57
7.1	I beni di interesse storico-architettonico.....	57
7.2	Lo stato della tutela e indicazioni e prescrizioni del PPR.....	57
7.2.1	Ambito di paesaggio di Nora.....	58
7.3	Siti di Interesse Comunitario.....	60
7.4	Le aree a rischio ambientale definite dal PAI.....	63
8	Ambiente costiero.....	65
8.1	Inquadramento generale del litorale.....	65
8.1.1	Il <i>dataset</i> spiagge.....	66
8.1.1.1	Litologia.....	71
8.1.1.2	Morfologia della costa.....	74
8.1.1.3	Tessitura dei sedimenti.....	76
8.1.1.4	Uso della costa.....	81
8.1.1.5	Uso antropico dei compendi sabbiosi.....	84
8.1.1.6	La carrying capacity.....	87
8.2	Studio e valutazione della dinamica costiera.....	96
8.2.1	Recupero e valutazione di carte catastali e foto aeree storiche.....	97
8.2.2	Elaborazione informatica delle foto.....	98
8.2.3	Analisi dei dati elaborati.....	103

9	Bilancio sedimentario.....	107
9.1	Applicazione del modello multiparametrico di Gavrilovic.....	109
10	Rischio costiero	123
10.1	Rischio ambientale	123
10.2	Metodologia di analisi del rischio costiero – Progetto EUROSION	123
10.2.1	Indice di sensitività costiera ISC.....	124
10.2.2	Indice di vulnerabilità costiera IVC	125
10.3	Determinazione degli indicatori.....	127
10.4	Valutazione del rischio costiero	130
10.4.1	Area 1 Pinus Village - Cala Bernardini	130
10.4.2	Area 2 Cala Bernardini - Forte Village	131
10.4.3	Area 3 Forte Village - porticciolo di Cala Verde.....	131
10.4.4	Area 4 porticciolo di Cala Verde - Is Morus.....	132
10.4.5	Area 5 Is Morus - Torre di Cala d’Ostia	133
10.4.6	Risultati della valutazione del rischio costiero	133
11	Conclusioni	139
12	Bibliografia.....	146

1 Premessa

1.1 Obiettivi della ricerca

Obiettivo della presente ricerca è quello di costruire un Sistema Informativo Territoriale (SIT) all'interno del quale poter operare, per mezzo di software GIS e con operazioni di analisi spaziale su dati inerenti i caratteri fisici, ambientali e antropici relativi ad un tratto costiero della Sardegna sud-occidentale al fine di individuare la pericolosità naturale e la vulnerabilità del litorale che ne determinano l'evoluzione.

Nello specifico la ricerca verte sulle tematiche legate al rischio di erosione costiero, inteso in questo caso come insieme di processi, cause e conseguenze di fenomeni naturali connessi all'intervento antropico.

In questo ambito, in differenti fasi operative, sono state catalogate in *datasets* tutte le informazioni di base e di rappresentazione degli aspetti ambientali e antropici del territorio, sono state inoltre individuate, attraverso rilievi sul campo, elaborazioni cartografiche vettoriali e *raster* ed elaborazioni alfanumeriche e grafiche, le caratteristiche geologiche, idrogeologiche, morfometriche, di uso del territorio nei diversi anni, nonché l'evoluzione della linea di riva negli ultimi quaranta anni. Successivamente sono stati selezionati e applicati moduli GIS orientati e modelli matematici per la creazione di dati geografici di sintesi con i quali sono state quantificate e localizzate nello spazio le informazioni derivate dall'analisi numerica e cartografica.

Con tale metodo sono state analizzate e sintetizzate, in un *database* geografico derivato, le problematiche di rischio ambientale secondo i seguenti obiettivi:

- studio e analisi della pericolosità costiera, connessa a fenomeni di natura ambientale, mettendo in evidenza il legame che esiste tra l'uso del suolo e i processi naturali che si rilevano nel territorio indagato;
- studio e analisi per mezzo delle attuali metodologie e applicazioni informatiche della vulnerabilità.

1.2 Scelta dell'area di indagine

L'area di indagine, come verrà approfondito più avanti nella sezione riguardante le fasi operative della ricerca e della implementazione del *dataset* di inquadramento territoriale, è ubicata nel settore costiero della Sardegna Sud-occidentale, nello specifico sul tratto compreso tra Pinus Village e Porto Columbu.

La forte antropizzazione e, di conseguenza, la forte pressione di fruizione, spesso causa di un uso scorretto e non sostenibile del territorio, con conseguente aumento della pericolosità e

della vulnerabilità, hanno portato a considerare tale area un buon esempio di applicazione per gli studi e le ricerche applicate alla quantificazione e localizzazione del rischio ambientale.

1.3 Metodologia

1.3.1 Cos'è un SIT

"Una raccolta integrata di hardware, software, dati e personale che operano in un contesto istituzionale" (Maguire, 1991): questa la definizione di SIT generalmente accettata.

Lo sviluppo tecnologico e la riduzione dei costi di hardware e software hanno contribuito alla consistente diffusione dei Sistemi Informativi Territoriali in diverse discipline scientifiche, ma anche nella pianificazione e nella gestione del territorio, negli studi VIA e VAS e nella pratica professionale in genere. Si può anzi affermare che proprio in questi campi si esprimono al massimo delle loro potenzialità.

I SIT costituiscono una particolare tipologia di Sistemi di Informazione (SI); ciò che distingue i SIT dai SI è l'attenzione preminente che viene posta sulle entità e le relazioni spaziali (Maguire, 1991).

La vera novità apportata dai SIT, in campi di applicazione quali quello ambientale, urbanistico ed economico-amministrativo, è che l'informazione alfanumerica viene proiettata in uno spazio tridimensionale, georeferenziata ed associata ad una entità i cui attributi possono essere messi in relazione con quelli di altre entità, in funzione delle loro rispettive relazioni logiche e spaziali.

Inoltre il potenziale analitico del SIT ne ha fatto un moderno mezzo per la gestione di banche dati e per l'analisi e la rappresentazione di entità spaziali fino a giungere ad essere applicato anche in discipline urbanistiche ed archeologiche.

In definitiva, la potenzialità di gestire dati geografici, di analizzarli e relazionarli è una caratteristica discriminante che differenzia i software GIS da quelli per cartografia e da quelli per l'archiviazione e l'analisi di banche dati.

Infatti un SIT lavora su dati geografici e i percorsi logici e metodologici su cui si basa dipendono dalla contemporanea presenza, all'interno di *database* relazionali, gestibili in ambiente GIS, di dati di tipo strettamente geografico (locazioni spaziali), generalmente visualizzati in mappe e dati di tipo alfanumerico (attributi) generalmente visualizzati in tabelle.

1.3.2 La metodologia dei SIT

Dopo aver definito le potenzialità di un SIT, risulta importante concentrare l'attenzione su "come" opera e quindi sulle determinanti logiche e sulle metodologie su cui lo "strumento" SIT si basa.

Si è affermato che i SIT sono sistemi per la gestione delle informazioni geografiche e che sono un potente mezzo capace di generare integrazioni tra dati e produrre rappresentazioni di sintesi settoriale o generale a fini diversi.

Il presupposto da cui non si può prescindere per ottenere tali risultati è la creazione di un *database* che contenga sia dati propriamente geografici che dati alfanumerici (Lando, 2000). I dati geografici, o locazioni, o entità spaziali, sono riferiti a precise posizioni sulla superficie terrestre e georeferenziati secondo un determinato sistema di coordinate spaziali di riferimento.

I dati alfanumerici, o attributi, sono archiviati in formato tabellare e contengono informazioni sulle caratteristiche rilevanti delle entità georeferenziate.

È chiaro ed evidente che tra l'entità geografica e l'insieme degli attributi che la descrivono esiste uno stretto legame; questo legame, inequivocabile, si basa su un codice identificativo unico per ogni entità.

Questa è una proprietà fondamentale su cui si basa la metodologia del SIT, ovvero quella per cui è importante che esista una distinzione logica e rigorosa tra la parte geografica e la parte alfanumerica di ciascun dato.

A questo punto è facile pensare a tutti gli elementi "geografici" del paesaggio reale, quali città, fiumi, laghi, parchi, boschi, coltivi, emergenze geologiche e geomorfologiche, monumenti naturali e culturali, separati gli uni dagli altri e rappresentati attraverso elementi geometrici primitivi: punti, linee e poligoni.

È infatti un concetto essenziale della metodologia con cui operano i SIT che esista una organizzazione logica dei dati attributo in funzione della loro essenza e della loro strutturazione in strati indipendenti, o layers, o livelli informativi che rappresentino un modello concettuale per una particolare applicazione.

La metodologia del SIT si fonda quindi su un modello concettuale composto di "entità" o elementi della realtà, "oggetti" o elementi rappresentati nel *database* e "simboli" che riproducono gli oggetti/entità reali, ed inoltre si avvale della possibilità di supportare l'informazione relativamente a quesiti vocazionali (dove), quesiti tematici (che cosa) e quesiti temporali (quando), (Berry, 1995).

I dati alfanumerici o attributi, che vengono archiviati in forma di tabelle, in cui ad ogni riga corrisponde un'entità distinta e ad ogni colonna, o campo, corrisponde un attributo, sono rappresentati da qualità delle entità geografiche e/o da misure quantitative, esprimibili su scale nominali, su scale ordinali, su scale metriche o su scale razionali (Lando, 2000).

Una volta stabilito il modello concettuale e quindi le entità e/o le classi di entità, scelte per rappresentare la realtà geografica reale, e quindi il numero degli strati indipendenti, layers, utili per rappresentare le varie classi di entità, e quindi ancora il numero di tabelle per l'archiviazione alfanumerica, deve essere verificata la logicità di impostazione della banca dati, operazione

condotta tramite lo studio di un modello entità – relazioni (E/R). Tale modello E/R, che si presta bene alle necessità inerenti la costituzione di un SIT, è generalmente implementabile con i software GIS. Formalmente il modello E/R si basa sui concetti di Entità, Classi di entità, Attributo, Relazione, Evento, Chiave e Gerarchia, per la strutturazione logica delle banche dati relazionali, ormai dominanti nell'ambito della costruzione dei SIT (Biallo, 2002).

Sulla base di tale organizzazione e rappresentazione è dunque possibile compiere operazioni analitiche, ma anche sovrapporre dati di natura diversa (dati statistici, foto aeree, immagini satellitari, grafi, coperture ed entità vettoriali) e trarre informazioni di sintesi in maniera rapida ed efficace.

Il sistema di archiviazione prevede poi la possibilità di cercare le informazioni georeferenziate che vi sono contenute, in modo rapido, efficiente e sicuro. Solo in questo caso il sistema costituisce una banca dati geografica e quindi un Sistema Informativo Territoriale efficiente.

Possiamo quindi definire la banca dati come un sistema di archiviazione di dati, con un'organizzazione finalizzata al reperimento delle informazioni che essi contengono, in modo efficiente (nel senso delle prestazioni) e sicuro (nel senso di non perdere informazioni).

Il modo di reperire le informazioni all'interno del *database* viene definito query; ogni interrogazione è costituita da comandi e/o frasi scritte secondo regole codificate, con le quali si attiva l'esecuzione di determinate elaborazioni. Si tratta ovviamente di operazioni non agevoli, tuttavia, quasi tutti i software GIS sono ormai dotati di un'interfaccia, cioè di una modalità operativa, di uso relativamente semplice.

Riassumendo si può affermare che i SIT lavorano su un modello concettuale di dati geografici e i percorsi logici e metodologici su cui si basano le applicazioni, gestibili in ambiente GIS, dipendono dalla contemporanea presenza, all'interno di *database* relazionali, di dati spaziali e di dati alfanumerici. Il modello concettuale determina l'evoluzione delle applicazioni effettuabili all'interno del SIT; pertanto, così come accade negli studi di base finalizzati alla pianificazione generale o settoriale, la sua progettazione deve essere attenta all'orientamento della banca dati geografica, sempre considerando che un SIT è aggiornabile, ma è anche adattabile e flessibile per rispondere ad una molteplicità di esigenze.

1.3.3 Le fasi operative della ricerca

L'organizzazione dello studio di ricerca è stato articolato in più fasi operative, durante le quali è stato creato un *database* geografico, elaborando un modello concettuale di riferimento, appositamente orientato per lo sviluppo delle applicazioni GIS adoperate per la redazione delle informazioni di sintesi e riguardanti gli obiettivi della ricerca nel territorio preso in esame. Parallelamente alla ricerca di dati da implementare nel SIT, è stata condotta una ricerca

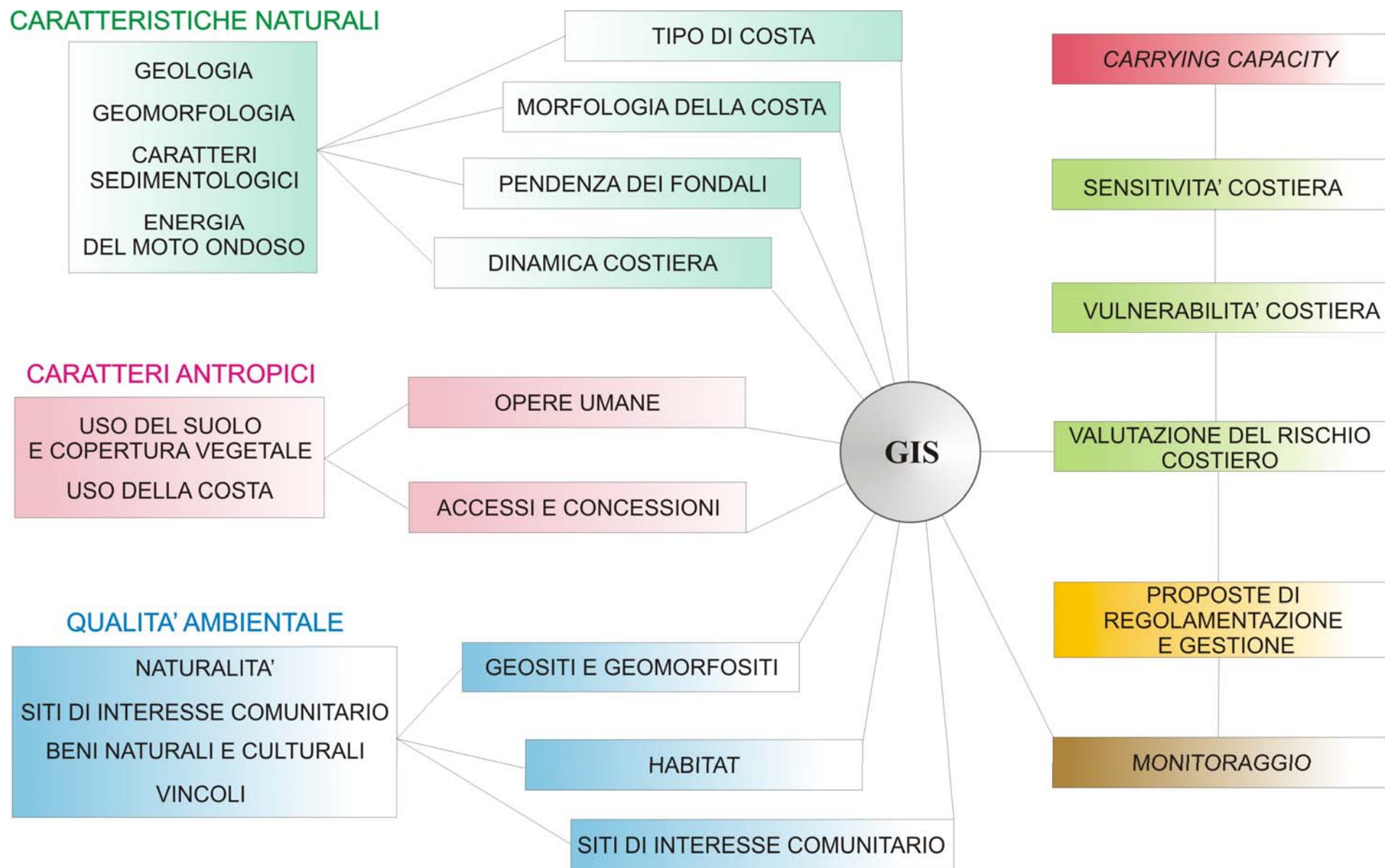


Figura 1. Quadro sinottico del percorso metodologico utilizzato per l'elaborazione dei dati di sintesi, per l'implementazione degli stessi in ambiente GIS al fine di valutare la carrying capacity e il rischio costiero a supporto delle azioni di regolamentazione, gestione e monitoraggio.

bibliografica e telematica utile a raccogliere sia le opere della letteratura scientifica nel settore della geologia ambientale, della geologia marina, della geomorfologia, della geomorfologia costiera e del paesaggio, sia nel settore delle applicazioni *software* utilizzate ampiamente nel progetto di ricerca.

1.3.3.1 La fase preliminare

In fase preliminare si è individuata l'area di studio e poiché vi era la necessità di utilizzare dati di base, topografici e tematici di dettaglio, vista la tipologia di applicazioni e procedure di analisi spaziale che si intendevano sviluppare con l'avanzare della ricerca, la scelta è ricaduta sul tratto costiero appartenente all'amministrazione comunale di Pula (Sardegna SO).

Questo tratto di costa, sia in passato che di recente, è stato interessato da processi di urbanizzazione o comunque da processi di antropizzazione; si era quindi in possesso o risultavano di semplice reperimento diversi sets di dati che in fase preliminare sono stati archiviati nel formato originale di acquisizione, per una valutazione ed implementazione eseguita nelle fasi successive della ricerca.

Sempre nella fase preliminare, parallelamente alla ricerca bibliografica e cartografica di base, sono stati valutati i software di base, reperibili o già forniti, al fine di individuare quelli più utili allo sviluppo del *database* geografico e quelli più flessibili verso le implementazioni software (utilities o extensions) disponibili oppure ricercate nella rete Internet.

Questa necessità si è rivelata di immediata rilevanza ed importanza in quanto i primi dati provenienti dalla ricerca, acquisiti e catalogati, mostravano una svariata tipologia di formati digitali ed anche cartacei; pertanto dovendo optare per la definizione del modello fisico dei dati che avrebbero caratterizzato il *database* geografico e quindi scegliere il software di base da utilizzare per la gestione dei dati spaziali, per la gestione delle procedure di analisi spaziale e per l'applicazione di modelli matematici, la scelta è ricaduta sui software GIS della *Environmental Systems Research Institute, Inc.*, (ESRI) Redlands, California.

Sono stati pertanto utilizzati i software GIS:

- *ArcView* GIS 3.2 ESRI© - esteso con 3D Analyst ESRI© e Spatial Analyst ESRI© ed extensions;
- *ArcGIS* 8.3 ESRI© - esteso con 3D Analyst ESRI© e Spatial Analyst ESRI© ed extensions.

Tuttavia, altri software sono stati di rilevante importanza per le elaborazioni CAD, per quelle grafiche e per quelle alfanumeriche, i principali software utilizzati sono stati:

- Statistica 6.1;
- *Autodesk Map 5* Autodesk® - esteso con Autodesk Raster Design Autodesk®;
- *Microsoft Office* Microsoft®;
- *CorelDRAW11*® Corel Corporation©;
- altri software di utilità per conversioni di formato e di misure e per elaborazioni grafici.

1.3.3.2 La prima fase

Nella prima fase della ricerca, oltre alla continuazione delle attività di acquisizione dati, è stata avviata la progettazione concettuale del *database* geografico e quindi, partendo dalla serie di dati in possesso, si è proceduto alla loro elaborazione per l'implementazione nel modello concettuale; sono stati inoltre redatti i tematismi da aerofotointerpretazione ed è stato eseguito il rilevamento di campagna.

Poiché l'obiettivo della ricerca stabilito era quello di costruire un Sistema Informativo Territoriale utile per la gestione di dati ambientali ed orientato verso le problematiche di rischio geoambientale, il modello concettuale è stato inizialmente progettato per raccogliere diversi sets di informazioni, necessari per la conoscenza delle caratteristiche fisiche e ambientali del territorio, per definirne lo stato di fatto oltre che per poter rappresentare queste informazioni su diversa scala e su diversi supporti.

In quest'ottica è apparso importante raccogliere il maggior numero di informazioni disponibili e tanto più importante è stato organizzare tali informazioni, con lo scopo di renderle facilmente gestibili e reperibili all'interno del *database* geografico.

In prima analisi il modello concettuale del *database* è stato pensato come un insieme di contenitori (*datasets*) ognuno dei quali recipiente di informazioni della medesima tipologia, così come riportato di seguito:

- *dataset* di delimitazione e inquadramento territoriale;
- *dataset* topografico;
- *dataset* aerofotografico;
- *dataset* geologico;
- *dataset* morfometrico;
- *dataset* idrografico;
- *dataset* fotografico;
- *dataset* di uso e copertura del suolo;
- *dataset* delle tessiture della spiaggia;
- *dataset* delle coperture dunari;
- *dataset* dell'uso costiero;
- *dataset* della morfologia costiera;
- *dataset* delle batimetrie;
- *dataset* della dinamica costiera;
- *dataset* dei vincoli;
- *dataset* dei geositi e geomorfositi;

Successivamente a questa preliminare progettazione del modello concettuale del *database*, la ricerca è stata indirizzata verso l'elaborazione di dati grezzi, provenienti dal rilevamento di

campagna e dalla aerofotointerpretazione, per mezzo di elaborazioni CAD e GIS, attraverso la digitalizzazione a schermo delle informazioni acquisite.

1.3.3.3 La seconda fase

Durante la seconda fase sono state perfezionate le informazioni, sono stati completati diversi *datasets* e collaudate, attraverso procedure di validazione logica e topologica, le relazioni esistenti tra le entità spaziali e gli attributi relativi; sono state inoltre compiute elaborazioni di analisi spaziale sui *datasets* e sperimentati i modelli matematici di applicazione. Questa è risultata di conseguenza la fase più importante della ricerca durante la quale si è comunque proseguito con l'attività di acquisizione dati come pure nell'attività relativa alla redazione dei tematismi per mezzo delle elaborazioni digitali.

In questa fase, attraverso criteri di pre-elaborazione ed elaborazione delle informazioni reperite nelle fasi precedenti, sono state predisposte informazioni di sintesi a completamento dei *datasets*, attraverso procedure alfanumeriche ed analisi spaziale dei dati in ambiente GIS. In particolare, sono stati analizzati e sintetizzati i dati per quanto relativo alle caratteristiche di vulnerabilità nell'area di studio.

In questa fase pertanto sono andati delineandosi i contenuti dei *datasets* per il completamento del modello concettuale del *database*, sia attraverso le classiche operazioni di rilevamento in campo, aerofotointerpretazione e digitalizzazione a schermo, sia per quanto concerne le informazioni geologiche, geomorfologiche, di uso del suolo, sia attraverso analisi spaziale e redazione di dati di sintesi settoriale.

1.3.3.4 La terza fase

Nella terza fase dello studio, oltre al completamento del modello concettuale dei dati con la definitiva validazione logica e topologica e l'archiviazione dei tematismi di ogni *dataset*, sono stati applicati i modelli di analisi territoriale, i modelli matematici e i modelli spaziali, previsti dagli obiettivi della ricerca, per lo studio dei fenomeni di rischio nel settore costiero di Pula.

Il completamento del *database*, la verifica e il collaudo funzionale delle informazioni contenute nei diversi *datasets*, è stato attuato attraverso controlli e verifiche in campo, condotte anche con l'ausilio del *Pocket pc*, per la validazione geometrica e tematica delle informazioni ed attraverso operazioni di verifica logica e topologica dei *datasets* condotta in ambiente GIS.

A seguito delle operazioni di verifica e collaudo, si è proceduto allo studio, lo sviluppo e l'applicazione di modelli matematici di sintesi elaborati con tecniche di *Overlay mapping* su base vettoriale e *raster*, utilizzando procedure di *Intersect mapping*, operazioni di tipo aritmetico e procedure analitiche basate su equazioni derivate dalla letteratura specifica di settore.

2 Inquadramento geografico

L'area esaminata si estende nel tratto di costa compreso tra Pinus Village e Porto Columbu, situata a occidente del Golfo di Cagliari dove la costa risulta prevalentemente orientata a Sud Est.

Il tratto costiero oggetto di studio si estende per una lunghezza di circa 27 km. Il territorio complessivamente indagato si spinge nell'entroterra per una distanza media di 2 km dalla linea di costa comprendendo complessivamente una superficie di circa 40 kmq.

Secondo il sistema di coordinate di riferimento di Gauss-Boaga Roma 40 fuso Ovest, l'area di studio è compresa in un rettangolo le cui coordinate dei vertici sono:

- NO: 1491706,476563, 4322185,760596;
- NE: 1503082,750019, 4322185,760596;
- SE: 1503082,750019, 4307322,341519;
- SO: 1491706,476563, 4307322,341519.

2.1 Il *dataset* topografico

Il principale dei *datasets* di base risulta essere quello topografico, infatti rappresenta il supporto su cui vengono raffigurate le informazioni contenute nei vari *datasets* tematici e definisce il supporto digitale da cui vengono estratte importanti informazioni di carattere idrografico, morfologico e morfometrico del territorio indagato.

L'informazione topografica è stata archiviata seguendo una metodologia che consentisse l'utilizzo dei dati sia a piccola scala sia a grande scala per due motivi fondamentali: per individuare un'area vasta utile a inquadrare il tratto costiero da un punto di vista geografico, geomorfologico, geostrutturale e per avere la possibilità di gestire dati topografici di dettaglio al fine di poter sviluppare le procedure ed i modelli di analisi spaziale.

All'interno del *dataset* topografico svolge un ruolo di primaria importanza la Carta Tecnica Regionale Numerica in scala 1:10.000 della Regione Autonoma Sardegna; l'anno di realizzazione delle sezioni archiviate nel *dataset* è il 1998 (data di esecuzione del volo). Questa Carta Tecnica costituisce la cartografia di base della Regione Autonoma Sardegna con rappresentazione cartografica nella proiezione di Gauss, Datum E.D. 1950, con coordinate piane riferite al sistema nazionale Gauss-Boaga Roma 40 fuso Ovest.

Tutte le informazioni presenti nel *dataset* sono state georeferenziate utilizzando come base di appoggio la cartografia della CTR numerica e di conseguenza tutto il *database* geografico e pertanto tutti i dati in esso contenuti sono stati georeferenzati nel sistema nazionale di coordinate piane di riferimento Gauss-Boaga Roma 40 fuso Ovest.

Nella tabella seguente si può osservare uno schema sintetico dei contenuti e dell'utilizzo del *dataset* topografico.

<i>DATASET TOPOGRAFICO</i>				
Scala	1:50000	1:25000	1:10000	
Stralci cartografici	IGM: Foglio 566, Foglio 565, Foglio 573	IGM: Foglio 565 sez. II, Foglio 566 sez. III, Foglio 573 sez. I	CTR al tratto: Sez. 565-D4, Sez. 566-D1, Sez. 573-A4, Sez. 573-A4, Sez. 573-A1, Sez. 573-B3, Sez. 573-B4	CTR numerica: Sez. 565-160, Sez. 566-130, Sez. 573-040, Sez. 573-010, Sez. 573-040, Sez. 573-070, Sez. 573-080
Formato digitale	<i>Raster</i>	<i>Raster</i>	<i>Raster</i>	Vettoriale
Anno realizzazione	1993	1993	1978	1998
Uso nel database	Analisi territoriale temporale, rappresentazione territoriale area vasta	Analisi territoriale temporale, rappresentazione territoriale area vasta, estrapolazione della batimetria	Analisi territoriale temporale, rappresentazione territoriale, estrapolazione della linea di riva.	Analisi territoriale temporale, rappresentazione territoriale, derivazione tematismi
Temi derivati	nessuno	nessuno	nessuno	Piano quotato DTM

Tabella 1. Metadata sintetico del dataset topografico contenente informazioni principali relative all'inquadramento e alle caratteristiche fisiche e di adoperabilità dei dati.

Come si può osservare nella Tabella 1, tematismi derivati provengono dalla elaborazione delle informazioni topografiche in formato vettoriale, ovvero dalla CTR numerica.

La CTR numerica è stata acquisita nei formati 2D e 3D vettoriali, di conseguenza, con agevoli elaborazioni CAD, da essa è risultato semplice derivare le informazioni digitali di altimetria e quindi estrapolare un DTM per le applicazioni morfometriche.

Dalla CTR numerica sono state inoltre estrapolate altre informazioni come la rete stradale, il reticolo idrografico e la linea di riva.

2.1.1 I dati topografici e quelli derivati (DTM -Digital Terrain Model)

Come detto precedentemente, nel *dataset* topografico sono compresi i dati derivati dall'informazione di base costituita dalla CTR numerica, più specificatamente della componente informativa relativa alla altimetria.

Pertanto, visto il formato nativo dei files acquisiti, per la realizzazione del DTM sono state eseguite elaborazioni di disegno CAD, quali estrazione dell'informazione altimetrica, controllo e verifica logica e topologica delle informazioni. Successivamente, sulla base delle informazioni altimetriche derivate, attraverso diverse procedure di elaborazione del modello digitale del terreno, preliminarmente per mezzo di un TIN (*Triangular Interpolated Network*) e l'ulteriore verifica della

corrispondenza logica e topologica dei dati, sono stati realizzati, in formato TIN ed in formato *raster*, i modelli digitali del terreno.

Il DTM è stato realizzato su tutta l'area indagata utilizzando l'estensione delle sezioni cartografiche precedentemente descritte; vista la scala nominale della cartografia digitale, la risoluzione adottata per il *raster* che costituisce l'informazione altimetrica digitale di base derivata dalla CTR numerica è pari a 10.00 m; questo equivale a dire che la cella unitaria della griglia *raster* dei valori di quota, ha lato pari a 10.00 m.

L'informazione altimetrica contenuta nel DTM consente di determinare diverse grandezze morfometriche, quali per esempio l'altitudine media o la pendenza dei versanti, le grandezze da cui dipendono le caratteristiche cinematiche del deflusso sui versanti stessi e nella rete scolante e, di conseguenza, i processi erosivi.

Dal DTM elaborato derivano poi altri importanti tematismi o livelli di informazione che risultano determinanti per gli sviluppi della ricerca; pertanto sono stati elaborati, per mezzo degli algoritmi e delle procedure tipiche dei *software* GIS utilizzati, i dati relativi alla pendenza e alla esposizione dei versanti, sempre mantenendo inalterata la risoluzione del *raster* di base, al fine di poter implementare i dati in maniera semplice ed efficace in modelli matematici di calcolo *raster*.

2.2 Il *dataset* aerofotografico

A completamento dell'informazione di base, utile agli scopi previsti dalla ricerca relativamente agli aspetti e alle metodologie di applicazione della aerofotointerpretazione per la restituzione di dati tematici del territorio oggetto di studio, è stato creato, attraverso diversi processi di acquisizione, di elaborazione grafica e di georeferenziazione, un *dataset* aerofotografico a diversa scala di acquisizione sia fotografica che temporale.

Le procedure per il completamento del *dataset* aerofotografico sono state svariate, semplici come quelle di diretta archiviazione di ortofoto digitali e più laboriose come quelle di acquisizione, per mezzo di scansione, elaborazione grafica e georeferenziazione, di fotogrammi cartacei.

Il *dataset* si concretizza nell'archiviazione dei dati in formato *raster* provenienti da diverse fonti, georeferenziati secondo il sistema nazionale di coordinate piane di riferimento Gauss-Boaga - Roma 40 Fuso Ovest.

Di seguito vengono sommariamente identificate le caratteristiche principali del *dataset*, che possono distinguersi in *raster* ortorettificati e in *raster* rettificati, georeferenziati sul supporto della CTR:

- ortofoto AIMA Sez. 565-160, Sez. 566-130, Sez. 573-040, Sez. 573-010, Sez. 573-040, Sez. 573-070 e Sez. 573-080, anno 1997, toni di grigio, ris. 1 metro;
- ortofoto AGEA Sez. 565-160, Sez. 566-130, Sez. 573-040, Sez. 573-010, Sez. 573-040, Sez. 573-070 e Sez. 573-080, anno 2003, toni di grigio, ris. 1 metro;

- ortofoto AIMA Sez. 565-160, Sez. 566-130, Sez. 573-040, Sez. 573-010, Sez. 573-040, Sez. 573-070 e Sez. 573-080, colori, anno 2000;
- ortofoto AIMA Sez. 565-160, Sez. 566-130, Sez. 573-040, Sez. 573-010, Sez. 573-040, Sez. 573-070 e Sez. 573-080, colori, anno 2006.

L'uso delle ortofoto ha reso agevoli le procedure di elaborazione e di digitalizzazione a monitor delle informazioni derivate, tematiche e morfometriche, rendendo ulteriormente efficace l'analisi territoriale temporale e garantendo una discreta accuratezza tematica delle entità spaziali digitalizzate.

Copertura del settore costiero:

- foto aeree "Volo coste RAS", anni 1977, 1995, 1997, 1998, 1999, 2001 e 2002;
- foto aeree EIRA acquisite dal Dipartimento di Ingegneria di Cagliari (DIGITA), anno 1968;
- foto aeree acquisite dalla Regione Autonoma della Sardegna (RAS), anno 1986 – 1989.

Il confronto temporale tra le diverse edizioni delle riprese aeree perfettamente sovrapposte ha dato la possibilità di estrapolare informazioni importanti per quanto concerne lo studio dell'evoluzione del settore costiero negli ultimi 40 anni. Attraverso particolari tecniche di georeferenziazione e di scalatura delle immagini acquisite è stato possibile ricostruire l'evoluzione della linea di riva degli ultimi 40 anni e realizzarne un *dataset*.

2.3 Il *dataset* di delimitazione e di inquadramento territoriale

La superficie totale indagata è pari a 43,16 Km² (vedi Figura 2); all'interno di questo *dataset* è compreso un livello di informazione che consente di inquadrare l'area studiata da un punto di vista amministrativo, derivando le delimitazioni dei territori comunali dalla cartografia di base contenuta nel SITR (Sistema Informativo Territoriale Regionale). Pertanto, per mezzo di procedure di analisi spaziale risulta che il territorio indagato ricade per circa 33,24 Km² nell'amministrazione comunale di Pula, per circa 4,2 Km² in quella di Villa S. Pietro, per circa 0.5 Km² in quella di Domus De Maria e per circa 5,6 Km² in quella di Sarroch (vedi Figura 3).

I livelli informativi che costituiscono il *dataset* di delimitazione ed inquadramento territoriale, contengono poche ma importanti informazioni di interesse sulle entità spaziali che definiscono; infatti le entità rappresentano le effettive delimitazioni di superficie planimetrica, mentre gli attributi risultano di indispensabile utilità nell'analisi spaziale delle caratteristiche del territorio ed inoltre consentono di determinare i parametri di base per lo sviluppo dei modelli alfanumerici e spaziali, relativi alle applicazioni sul calcolo delle caratteristiche morfometriche.

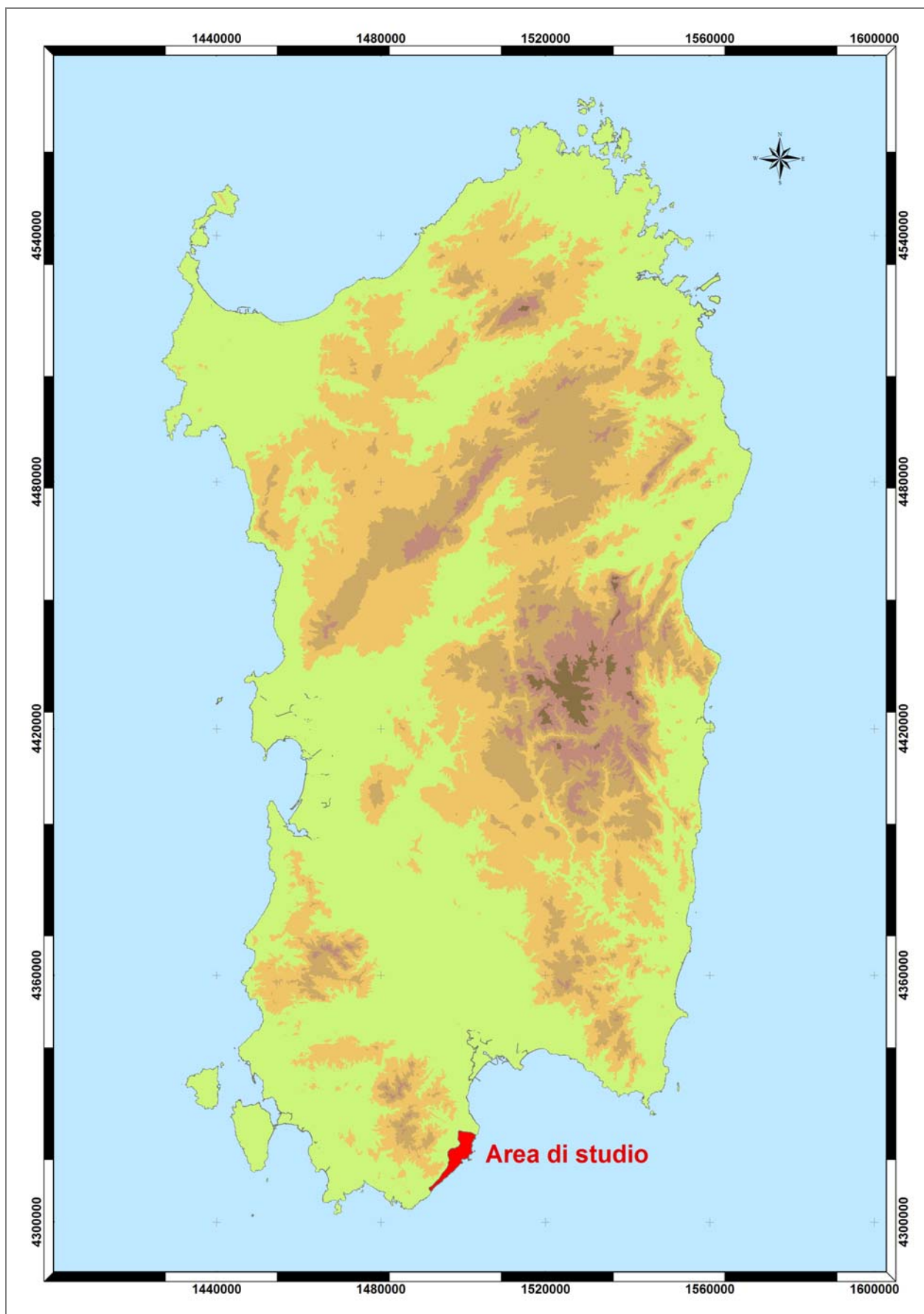


Figura 2 Carta di inquadramento territoriale della piana costiera di Pula, realizzata sulla base di un modello derivato dal DTM della Regione Sardegna (Fonte SITR).

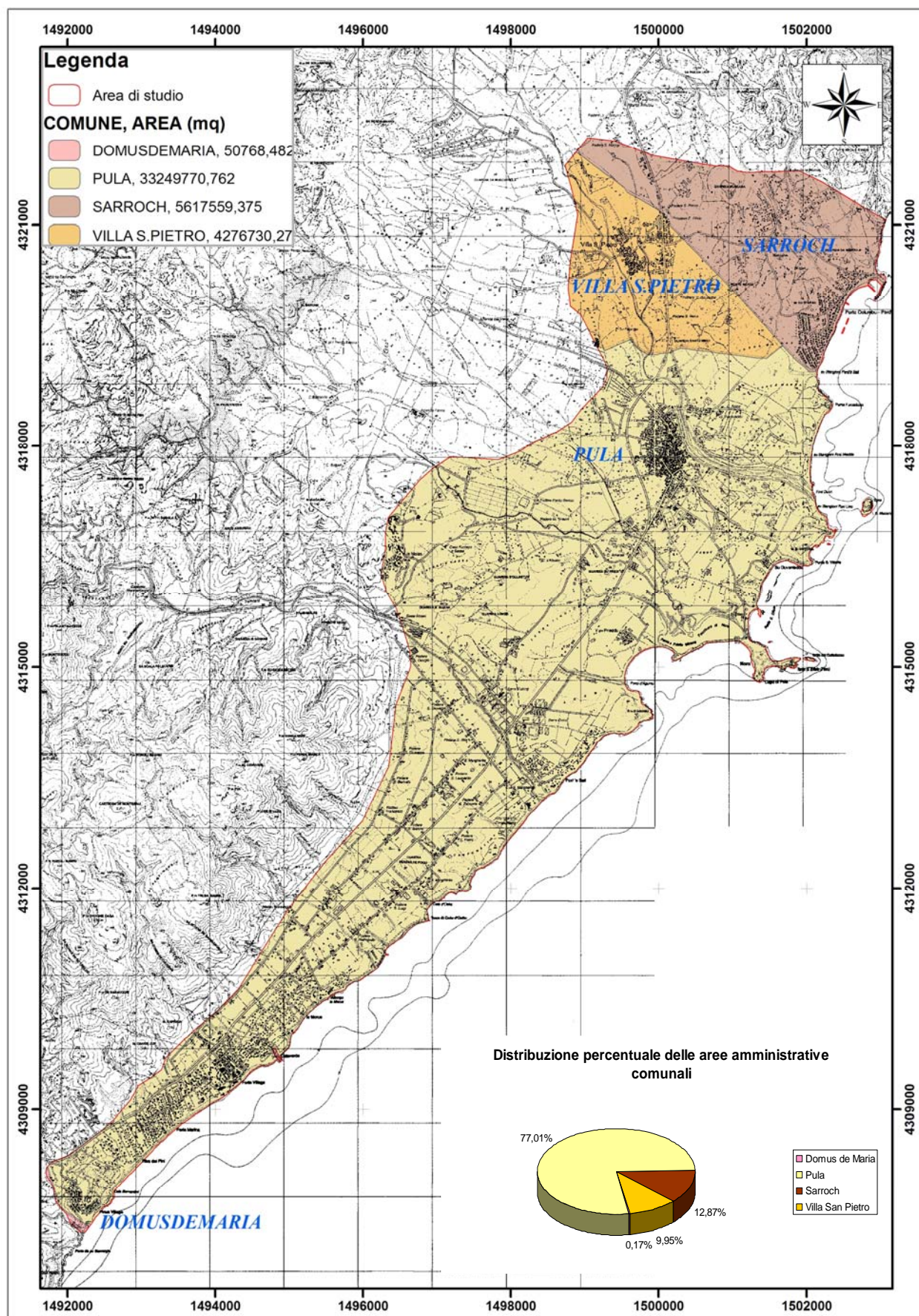


Figura 3. Carta di inquadramento dell'area di studio, con indicazione planimetrica delle aree amministrative comunali e indicazione delle superfici in mq.

3 Uso e copertura del suolo

Il *dataset* dell' Uso del Suolo (UDS) rappresenta uno strumento tecnico di base particolarmente valido nelle indagini ambientali finalizzate alla pianificazione territoriale.

In particolare, questo tipo di analisi del territorio costituisce un documento di base fondamentale e contiene informazioni territoriali ed ecologiche indispensabili per formulare ipotesi di sviluppo e pianificare qualsiasi tipo di intervento.

L'utilità maggiore di questa informazione consiste nel consentire al pianificatore di analizzare e comprendere lo stato di fatto nell'uso del territorio e di evidenziare le risorse e le valenze ambientali e culturali, le situazioni di degrado e le criticità territoriali, al fine di operare scelte consapevoli e commisurate alla realtà territoriale ed alle attese di crescita economica e sociale della popolazione.

La conoscenza dell'UDS è inoltre indispensabile per l'analisi ed il monitoraggio dell'ambiente, in particolare per le aree costiere, dove risultano più incisivi i fattori di pressione e trasformazione del paesaggio.

In funzione di tali obiettivi è stata predisposta la Carta dell'UDS in scala 1:10.000 dell'unità di paesaggio, seguendo il Programma CORINE (*Coordination of Information on the Environment*) Land Cover e approfondendo la legenda già adottata per la Carta dell'Uso del Suolo regionale 1:25.000.

3.1 I dati della Carta dell' Uso del Suolo

La Carta dell'UDS in scala 1:10.000 proposta in questo lavoro è stata sviluppata basandosi sulla Legenda della Carta dell'UDS in scala 1:25.000 già prodotta dalla Regione Autonoma Sardegna per tutta l'Isola. Il lavoro svolto è consistito nell'implementazione di tale legenda, nella quale si è cercato di non modificare i livelli già esistenti, i quali sono stati talvolta ampliati e più spesso esplosi e suddivisi in quinti livelli.

Il principio di base sul quale si fonda la metodologia per la redazione della Carta dell'Uso del suolo in scala 1:25000 della Regione Autonoma Sardegna è lo stesso proposto nel Programma CORINE, varato dal Consiglio delle Comunità Europee nel 1985, finalizzato a verificare dinamicamente lo stato dell'ambiente nell'area comunitaria, al fine di orientare le politiche comuni, controllarne gli effetti e proporre eventuali correttivi.

Altro obiettivo del programma CORINE è quello di rilevare e monitorare la copertura del suolo ad una scala compatibile con le necessità dell'Unione Europea e con le principali caratteristiche del suo territorio, con particolare attenzione alle esigenze di tutela degli ambienti naturali.

Obiettivi secondari, ma non per questo meno validi, sono la formazione e la diffusione di standard e metodologie comuni e la promozione di contatti e scambi internazionali, per facilitare la realizzazione di iniziative intercomunitarie.

La Legenda del CORINE Land Cover si articola su 3 livelli di base, dove ciascuna categoria del terzo livello è definita da una combinazione di tre cifre, una per ogni livello cui appartiene. La prima cifra si riferisce al primo livello che comprende 5 classi che abbracciano le maggiori categorie di copertura sul pianeta (*Territori modellati artificialmente, Territori agricoli, Territori boscati e ambienti semi-naturali, Zone umide, Corpi idrici*); la seconda cifra si riferisce al secondo livello che comprende in tutto 15 voci che definiscono le sottodivisioni più importanti all'interno di ognuna delle precedenti categorie. Queste suddivisioni risultano adatte ad una rappresentazione in scala 1:500.000/1:1.000.000. La terza cifra, infine è relativa al terzo livello che è composto da 44 voci più dettagliate, adatte ad una scala 1:100.000.

Seguendo lo stesso principio gerarchico, la Carta dell'UDS in scala 1:25000 della Regione Autonoma Sardegna è stata realizzata aggiungendo il quarto livello di lettura della copertura del suolo, giungendo così a definire per il territorio sardo 70 classi di copertura del suolo.

In questa fase di ricerca si è approfondito ulteriormente questo aspetto, arrivando fino al quinto livello per la scala 1:10.000. In Figura 4 viene riportata la carta dell'uso del suolo estesa alla superficie dell'area di studio; in legenda viene riportato il codice derivato appositamente per l'adattamento del livello informativo agli standard del progetto CORINE land cover.

3.2 Il livello informativo dell'uso e della copertura del suolo

Il livello di uso e copertura del suolo è stato realizzato attraverso procedure di digitalizzazione a monitor delle entità geografiche, con topologia totalmente poligonale, utilizzando come base aerofotointerpretativa le sezioni della ortofoto AGEA (del 2003 in toni di grigio e risoluzione di un metro), consultando inoltre il supporto Google Earth ©2005GoogleTM (per le strisciate del 2004 e del 2005) e verificando infine in campo sia le situazioni di difficile interpretazione sulle foto aeree e satellitari sia le modifiche territoriali più recenti, ovviamente non contemplate nei supporti usati. Si può pertanto dire in buona approssimazione che il livello informativo di uso e copertura del suolo realizzato per la presente applicazione di ricerca, esteso all'area in studio, sia dettagliato per una scala di rappresentazione 1:10000 e che temporalmente sia aggiornato all'anno 2006.

Come detto precedentemente, il principio per la realizzazione del livello informativo di uso e copertura del suolo è stato quello di seguire le indicazioni derivate dalla legenda del CORINE land cover, così come adattate nella Carta di uso del suolo in scala 1:25000 della Regione Autonoma Sardegna. Tuttavia, poiché le esigenze di accuratezza tematica e posizionale necessarie per lo sviluppo dei modelli matematici di applicazione superavano quelle della pura rappresentazione di coperture del suolo, è apparso indispensabile raggiungere un maggiore dettaglio di interpretazione e di adattamento ai modelli, che ha portato alla definizione di nuove classi di uso e copertura del suolo, integrando così la legenda con il quinto livello.

Le procedure applicate per la definizione delle nuove classi sono state basate sull'analisi tematica e sull'importanza che alcune classi di uso e copertura del suolo ricoprono sull'evoluzione dei processi geomorfologici, in funzione della loro capacità di determinare, accelerare e/o rallentare il fenomeno erosivo e il deflusso superficiale, e conseguentemente influenzare o determinare la pericolosità e il rischio ambientale.

Pertanto nel livello informativo uso e copertura del suolo vengono distinte 55 classi di uso e copertura così come identificate in Tabella 2:

Codice UDS	Voce di legenda	Superficie (mq)	Superficie (%)
	AREE ARTIFICIALI		
11111	Tessuto residenziale storico	262712,22	0,61
11112	Tessuto urbano moderno	715600,43	1,66
1112	Tessuto residenziale rado	420968,32	0,97
11211	Residenze estive organizzate in villaggi turistico	2186795,46	5,06
11212	Residenze estive raggruppate ma non organizzate in villaggi	666398,51	1,54
1122	Tessuto aggroresidenziale sparso e fabbricati rurali	478582,29	1,11
1211	Insedimenti industriali, artigianali e commerciali con spazi annessi	118846,94	0,28
12121	Grandi impianti di smaltimento rifiuti e depurazione acque	39788,17	0,09
12122	Grandi strutture adibite per servizi pubblici (scuole, chiese,etc)	14384,89	0,03
1213	Strutture turistico-ricettive (alberghi, ristoranti,etc)	1179857,97	2,73
1221	Reti stradali e spazi accessori	1399255,61	3,24
1224	Impianti a servizio delle reti di distribuzione	5568,72	0,01

Codice UDS	Voce di legenda	Superficie (mq)	Superficie (%)
1232	Porticcioli da diporto	24594,01	0,06
1322	Depositi di rottami a cielo aperto	580,84	0,00
1331	Spazi in costruzione	41771,47	0,10
1332	Fasce parafuoco	13796,06	0,03
1411	Aree verdi urbane ed extraurbane	159053,86	0,37
1412	Spazi verdi non urbani, fasce frangivento	216910,74	0,50
14211	Aree ricreative (campeggi)	79925,77	0,19
14212	Campi sportivi (calcio, atletica, tennis, golf)	789889,28	1,83
1422	Aree archeologiche	69599,08	0,16
1423	Zone militari	56644,92	0,13
143	Cimiteri	13192,82	0,03
	AREE AGRICOLE		
2111	Seminativi in aree non irrigue	10758420,08	24,91
2112	Prati artificiali	4025684,00	9,32
2121	Seminativi semplici e colture orticole a pieno campo	402928,45	0,93
2123	Vivai	419548,32	0,97
2124	Colture in serra	961259,14	2,23
221	Vigneti	1215402,57	2,81
222	Frutteti e frutti minori	2247125,77	5,20
223	Oliveti	795173,14	1,84
231	Prati stabili (pascoli seminati)	381280,42	0,88
2411	Colture temporanee associate all'olivo	169153,47	0,39
2413	Colture temporanee associate a colture permanenti	370920,32	0,86
242	Sistemi colturali e particellari complessi	2651409,33	6,14

Codice UDS	Voce di legenda	Superficie (mq)	Superficie (%)
244	Aree agroforestali	74828,37	0,17
	BOSCHI E AMBIENTI SEMINATURALI		
31112	Boschi di latifoglie (copertura 51-80%)	871377,75	2,02
31121	Eucalitteti	611283,45	1,42
31122	Sugherete	38387,78	0,09
321	Aree a pascolo naturale	598930,91	1,39
3222	Formazioni di ripa	982152,88	2,27
32311	Macchia bassa	1960474,56	4,54
32312	Macchia alta	1676348,15	
3232	Gariga	1117144,36	2,59
3241	Aree a ricolonizzazione naturale (incolti)	911560,27	2,11
3242	Aree a ricolonizzazione artificiale	1108113,90	2,57
3311	Spiagge di ampiezza superiore a 25 metri	393333,06	0,91
3313	Aree dunali con copertura vegetale di ampiezza superiore a 25 metri	13397,60	0,03
3321	Affioramenti rocciosi con specie tipiche della gariga	10323,79	0,02
3322	Zone costiere caratterizzate da vegetazione rupicola	143885,24	0,33
333	Aree con vegetazione rada (vegetazione alofila)	141328,87	0,33
	TERRITORI UMIDI		
421	Paludi salmastre	341207,54	0,79
	CORPI IDRICI		
5111	Fiumi, torrenti e fossi	75810,52	0,18
5112	Canali e idrovie	23125,42	0,05
5211	Lagune, laghi e stagni costieri	192431,30	0,45
51221	Laghetti collinari	58552,94	0,14

Codice UDS	Voce di legenda	Superficie (mq)	Superficie (%)
51222	Vasconi e canali per l'approvvigionamento dei campi	174982,85	0,41
	<i>TOTALE</i>	43195656,76	100,00

Tabella 2. Classi di uso e copertura del suolo derivate da aerofotointerpretazione e da verifiche sistematiche di campo per l'area in studio, con indicazione delle voci descrittive di legenda e delle superfici occupate in mq ed in % sul totale della superficie dell'area di studio.

Dall'analisi dei dati prodotti attraverso l'elaborazione della Carta dell'UDS (Figura 5 e Figura 6), attenendosi alla classificazione della CORINE Land Cover (I livello) si evince che nell'unità fisiografica della piana costiera di Pula, la cui superficie considerata è di 4320 ettari, la maggior parte del territorio è caratterizzato da "Aree agricole", con una percentuale di circa il 56% (2447 ettari) dell'area considerata. I territori boscati e gli ambienti semi naturali occupano circa il 20% (890 ettari) dell'area. Il dato più significativo è quello dei "Territori modellati artificialmente" che in quest'area sale fino al 20% (895 ettari), notevolmente superiore alla media regionale che risulta del 2,8%; ciò è dovuto, da un lato, alla presenza dei due centri abitati di Pula e Villa San Pietro, dall'altro ai diversi insediamenti residenziali (seconde residenze e insediamenti turistico-residenziali). La restante parte del territorio, circa il 2%, è occupata dai corpi idrici e territori umidi. E' importante notare che le spiagge e le coperture dunari ricoprono circa il 1% (406730 mq), dell'area esaminata.

Analizzando nel dettaglio i rapporti sulla superficie relativa alle singole voci della legenda (Figura 4) si può notare come la classe dei seminativi in aree non irrigue (2111) assieme a quella dei prati artificiali (2112) costituiscano la percentuale di distribuzione maggiore in tutto il territorio.

Osservando il grafico di Figura 7, emerge come tra i territori modellati artificialmente la porzione più consistente sia quella della classe 11211 dei villaggi residenziali estivi (218 ha), ben più alta di quella relativa agli abitati di Villa San Pietro e Pula che ricadono nelle classi 11111 e 11112; questa classe comprende 46 regioni individuabili principalmente nel settore settentrionale dell'area indagata ricadenti perciò nel territorio amministrativo di Sarroch.

Anche la classe delle reti stradali (1221) occupa una porzione significativa con circa 139 ha, pari al 2,3 % di tutta la Piana.

Passando all'analisi dei territori agricoli è facile dedurre che la maggior parte dell'indotto agricolo sia dovuto alle colture foraggere (2111), nonché ai prati artificiali (2112), ai sistemi colturali e particellari complessi (242), ai frutteti (222) e ai vigneti (223). Durante le verifiche in campo è stata forte la sensazione di crescente abbandono delle attività agricole a causa dei numerosi terreni (vigneti, frutteti, orti, ecc.) incolti. Notevole anche il numero di serre abbandonate.

Esaminando gli ambienti naturali e seminaturali, dall'analisi relativa alle singole classi si evince che gli aspetti più naturali si sono riscontrati nelle classi 31112 (Boschi di latifoglie con copertura dal 51-80%) in cui si è fatta ricadere la macchia boscaglia che caratterizza l'area della Piana.

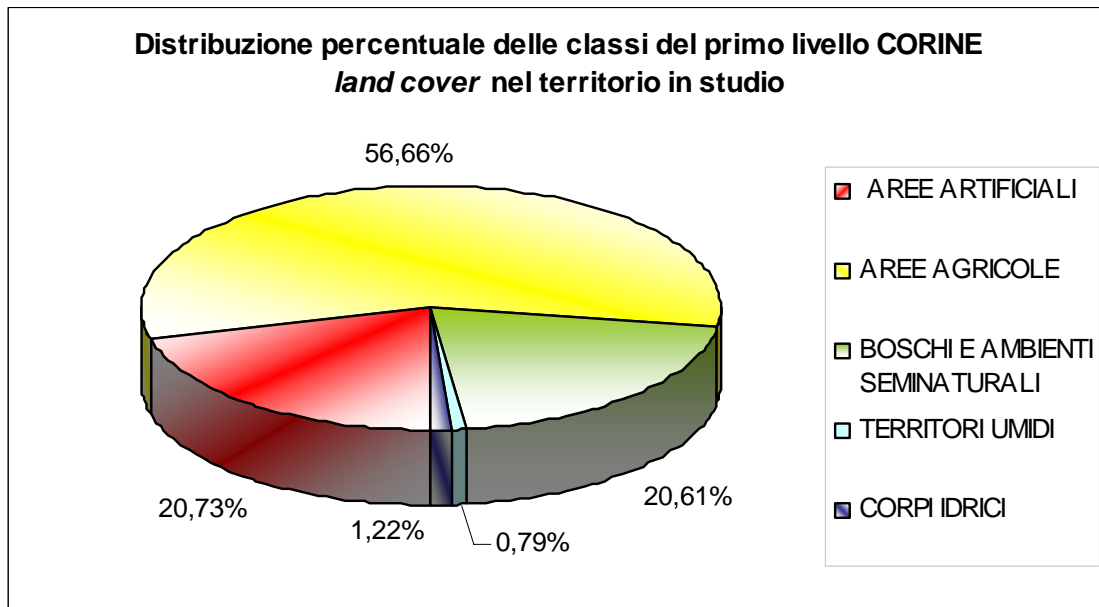


Figura 5. Grafico a torta della distribuzione percentuale delle classi del primo livello CORINE land cover all'interno del territorio studiato per il livello informativo uso e copertura del suolo.

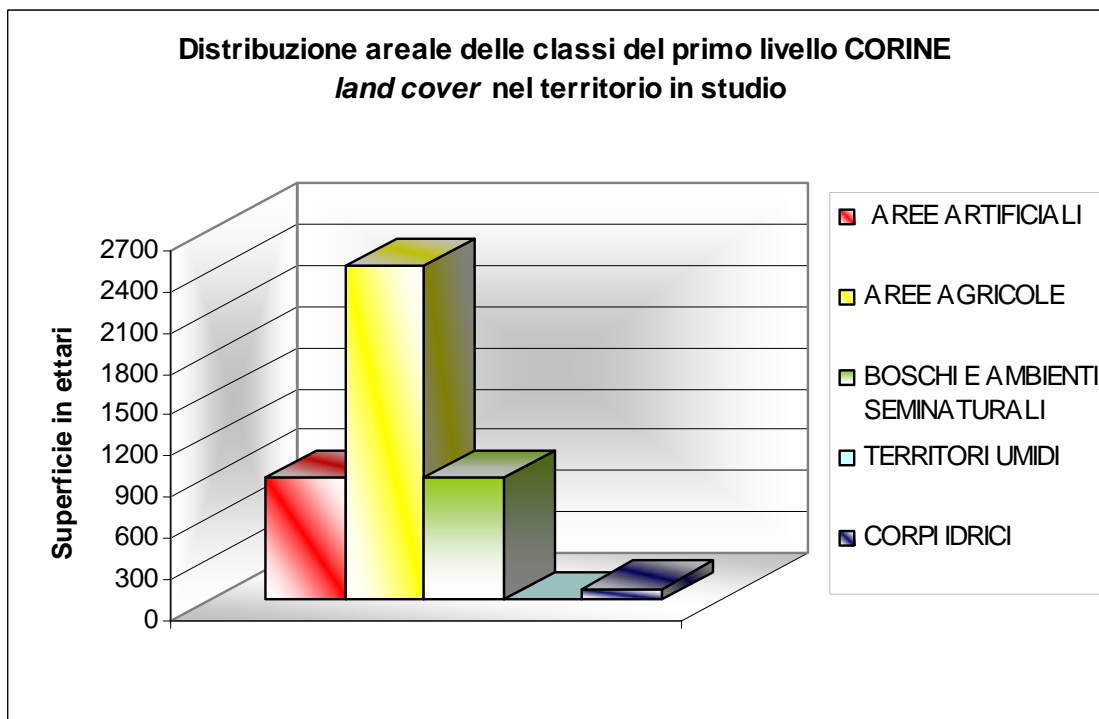


Figura 6. Grafico a barre della distribuzione areale delle classi del primo livello CORINE land cover all'interno del territorio studiato per il livello informativo uso e copertura del suolo.

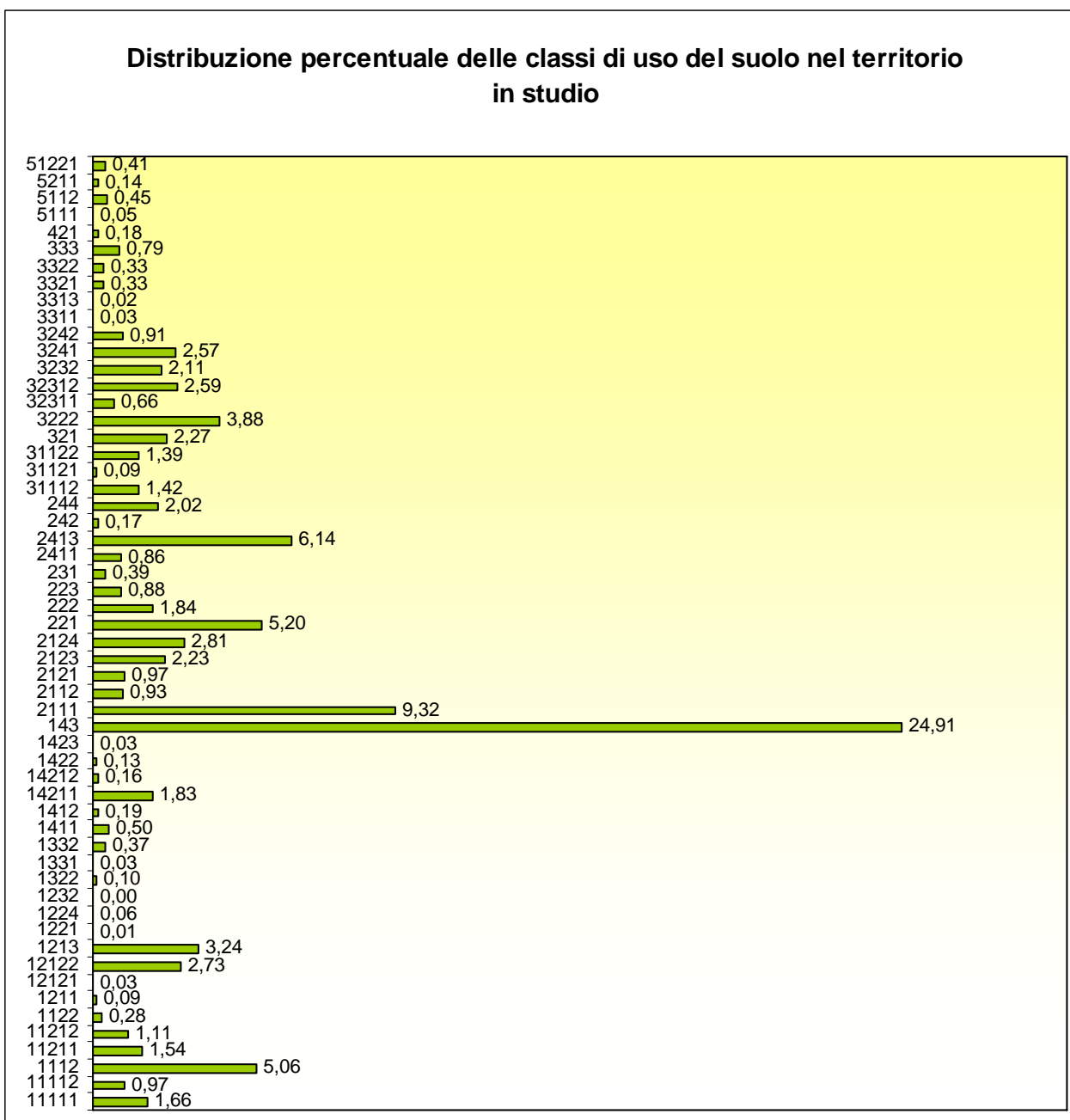


Figura 7. Grafico a barre della distribuzione percentuale delle classi di uso del suolo all'interno del territorio studiato per il livello informativo uso e copertura del suolo.

La classe delle zone umide è rappresentata dalle paludi salmastre (421) identificate da 7 regioni (34 ha), concentrate ad una distanza di circa 2 km dall'area archeologica di Nora.

Per la classe dei corpi idrici è evidente come la classe 51222, che occupa complessivamente 17 ha, abbia un'importanza fondamentale per le attività agricole, soprattutto se si considera che la sua distribuzione nel territorio è capillare.

3.3 Il livello informativo dell'uso e della copertura del suolo storico

L'analisi dell'uso attuale del suolo e il confronto dello stesso per diversi periodi storici, può essere utile per identificare le trasformazioni subite dal paesaggio in riferimento sia ai fenomeni

ambientali sia ai fenomeni di carattere socio-economici che possono aver interessato l'area di studio.

A tal scopo, sono state predisposte tre coperture relative all'uso del suolo che fanno riferimento a tre periodi diversi nell'arco degli ultimi 120 anni. Tali annate corrispondono alle levate con cui sono state predisposte le basi cartografiche utilizzate come appoggio al rilievo, vale a dire il 1885, il 1950/60 e il 1997 (vedi Figura 9, Figura 10 e Figura 11). Questi tre *dataset* sono stati poi confrontati con quello relativo all'anno 2006, precedentemente descritto.

Per le prime due annualità si è fatto riferimento alle tavolette editate dall'I.G.M., in scala 1:25.000. Le voci di legenda sono rispettivamente 14 per 1885 e 24 per il 1950/60. Per il 1997 si è fatto riferimento la Carta dell'Uso del Suolo in scala 1:25.000 edita nel 2001 dall'Assessorato agli Enti Locali, Finanze ed Urbanistica della Regione Sardegna, le cui informazioni territoriali sono organizzate secondo la banca dati originata dal progetto europeo CORINE Land Cover.

Per giungere ad una corretta valutazione delle trasformazioni avvenute sul paesaggio costiero in questo arco temporale, è stato eseguito un lavoro di elaborazione degli schemi di legenda utilizzati in modo da renderli confrontabili con il documento prodotto più recentemente, il quale mostra una grande articolazione di voci.

In Tabella 3 si mostra il raffronto tra le voci di legenda presenti sul territorio che evidenziano le variazioni di distribuzione del suo utilizzo.

Nel diagramma di Figura 8 sono state rappresentate le variazioni delle classi d'uso del suolo per le diverse annate, considerando la somma delle singole voci presenti all'interno delle singole categorie.

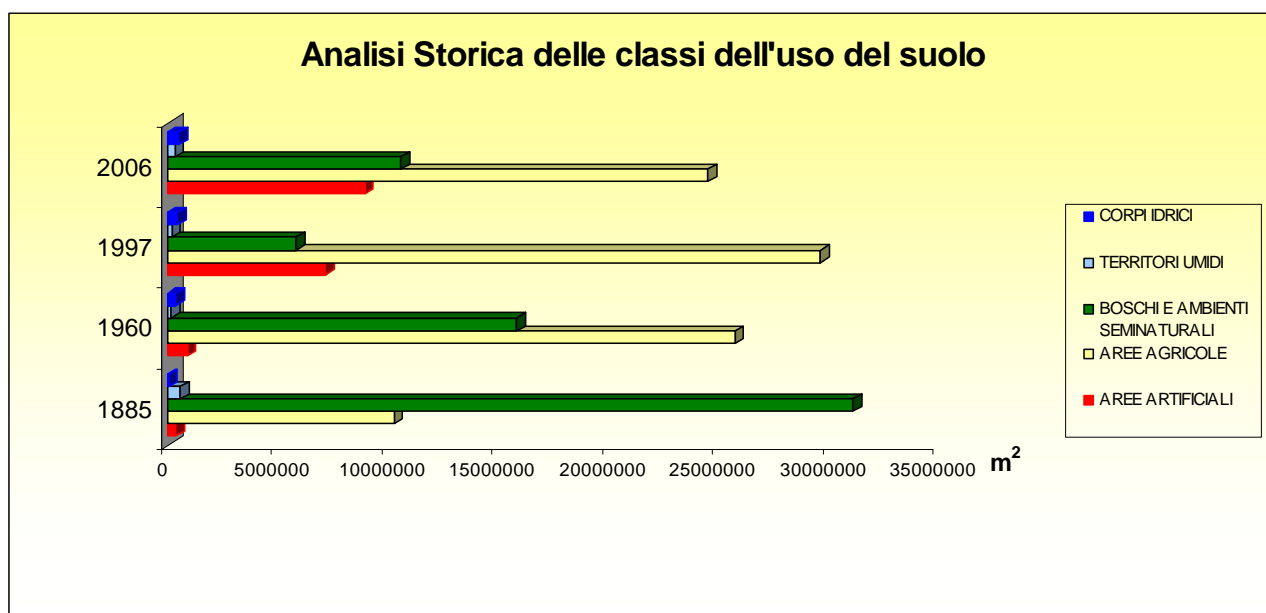


Figura 8 Grafico a barre della distribuzione areale delle classi di uso del suolo relativo ai diversi anni all'interno del territorio studiato per il livello informativo uso e copertura del suolo.

Dall'analisi del grafico si osserva in primo luogo l'incremento notevole delle aree antropizzate negli ultimi 40-50 anni.

La superficie delle aree agricole subisce un incremento nel periodo 1885-1997 mentre è interessata da un decremento nell'ultimo decennio. Per contro, le aree boscate e gli ambienti naturali, interessati da una riduzione di superficie nell'arco del periodo 1885-1997, aumentano nell'ultimo decennio. Tale trend si può presumibilmente spiegare considerando che l'abbandono delle attività agricole dell'ultimo decennio porti come conseguenza un aumento delle aree incolte e a ricolonizzazione naturale.

Codice UDS	Voce di legenda	1885	1960	1997	2006
	AREE ARTIFICIALI				
123	aree portuali	-	3206,24	49239,74	-
125	zone militari	-	97157,24	-	-
131	aree estrattive	-	-	16703,19	-
141	aree verdi urbane	-	-	56882,19	-
1111	tessuto residenziale compatto e denso	388018,19	522189,99	1236552,54	-
11111	tessuto residenziale storico	-	-	-	262712,22
11112	tessuto urbano moderno	-	-	-	715600,43
1112	tessuto residenziale rado	-	205809,93	857776,97	420968,32
1121	tessuto residenziale rado e nucleiforme	-	-	3121179,65	-
11211	residenze estive organizzate in villaggi turistico	-	-	-	2186795,46
11212	residenze estive raggruppate ma non organizzate in villaggi	-	-	-	666398,51
1122	tessuto agroresidenziale sparso e fabbricati rurali	-	-	640294,59	478582,29
1211	insediamenti industriali, artigianali e commerciali con spazi annessi	-	-	39700,99	118846,94
12121	grandi impianti di smaltimento rifiuti e depurazione acque	-	-	-	39788,17
12122	grandi strutture adibite per servizi pubblici (scuole, chiese,etc)	-	-	-	14384,89
1213	strutture turistico-ricettive (alberghi, ristoranti,etc)	-	-	-	1179857,97
1221	reti stradali e spazi accessori	-	-	-	1399255,61
1224	impianti a servizio delle reti di distribuzione	-	-	-	5568,72
1232	porticcioli da diporto	-	-	-	24594,01
1322	depositi di rottami a cielo aperto	-	-	-	580,84
1331	spazi in costruzione	-	-	-	41771,47
1332	fasce parafuoco	-	-	-	13796,06
1411	aree verdi urbane ed extraurbane	-	-	-	159053,86
1412	spazi verdi non urbani, fasce frangivento	-	-	-	216910,74

Codice UDS	Voce di legenda	1885	1960	1997	2006
1421	aree ricreative e sportive	-	-	1021504,92	-
14211	aree ricreative (campeggi)	-	-	-	79925,77
14212	campi sportivi (calcio, atletica, tennis, golf)	-	-	-	789889,28
1422	aree archeologiche	-	62388,93	105003,74	69599,08
1423	zone militari	-	-	-	56644,92
143	cimiteri	-	-	-	13192,82
	<i>TOTALE AREE ARTIFICIALI</i>	389903,19	892712,32	7146835,53	8943531,56
	AREE AGRICOLE				
2111	Seminativi in aree non irrigue	7593371,65	17054238,62	474175,10	10758420,08
2112	Prati artificiali	-	-	4738923,99	4025684
2121	Seminativi semplici e colture orticole a pieno campo	-	-	14674186,01	402928,45
2123	Vivai	-	-	-	419548,32
2124	Colture in serra	-	241344,95	1918108,62	961259,14
221	Vigneti	747180,88	3778200,95	731825,80	1215402,57
222	Frutteti e frutti minori	-	3887069,11	574758,98	2247125,77
223	Oliveti	1936217,49	587839,77	2258449,05	795173,14
2243	Sugherete	-	165094,30	-	-
231	Prati stabili (pascoli seminati)	-	-	204396,09	381280,42
2411	Colture temporanee associate all'olivo	-	-	891686,48	169153,47
2413	Colture temporanee associate a colture permanenti	-	-	413577,06	370920,32
242	Sistemi colturali e particellari complessi	-	-	2459211,87	2651409,33
243	Aree prev. occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	-	-	131223,51	
244	Aree agroforestali	-	7964,49	143113,98	74828,37

Codice UDS	Voce di legenda	1885	1960	1997	2006
	<i>TOTALE AREE AGRICOLE</i>	10276770,02	25721752,19	29613636,54	24473133,38
	BOSCHI E AMBIENTI SEMINATURALI				
3111	Boschi di latifoglie	3224171,93	836724,24	-	-
31112	Boschi di latifoglie (copertura 51-80%)	-	-	-	871377,75
31121	Eucalitteti	-	-	104403,31	611283,45
31122	Sugherete	-	-	-	38387,78
3121	Boschi di conifere	-	-	825146,72	-
3122	Conifere a rapido accrescimento	-	-	445185,15	-
321	Aree a pascolo naturale	6452560,47	6195200,13	32522,67	598930,91
3222	Formazioni di ripa	120508,06	685682,58	856436,17	982152,88
3231	Macchia mediterranea	20283042,88	3288044,63	386465,27	-
32311	Macchia bassa	-	-	-	1960474,56
32312	Macchia alta	-	-	-	1676348,15
3232	Gariga	-	-	1741182,90	1117144,36
3241	Aree a ricolonizzazione naturale (incolti)	-	-	126852,49	911560,27
3242	Aree a ricolonizzazione artificiale	-	2800066,88	492913,94	1108113,9
3311	Spiagge di ampiezza superiore a 25 metri	451423,35	554974,62	480972,65	393333,06
3313	Aree dunali con copertura vegetale di ampiezza superiore a 25 metri	-	-	252632,85	13397,6
332	Pareti rocciose e falesie	43950,76	112663,53	36147,54	-
3321	Affioramenti rocciosi con specie tipiche della gariga	161368,83	837970,23	-	10323,79
3322	Zone costiere caratterizzate da vegetazione rupicola	-	-	-	143885,24
333	Aree con vegetazione rada (vegetazione alofila)	337689,30	532155,32	27322,25	141328,87
	<i>TOTALE BOSCHI E AMBIENTI SEMINATURALI</i>	31074715,58	15843482,18	5808183,90	10578042,57

Codice UDS	Voce di legenda	1885	1960	1997	2006
	TERRITORI UMIDI				
421	Paludi salmastre	583536,70	181356,26	134154,33	341207,54
423	Zone intertidali	-	-	57061,80	-
	<i>TOTALE TERRITORI UMIDI</i>	583536,70	181356,26	191216,13	341207,54
	CORPI IDRICI				
5111	Fiumi, torrenti e fossi	-	-	-	75810,52
5112	Canali e idrovie	-	-	-	23125,42
5122	Bacini artificiali	-	14158,00	122706,36	-
51221	Laghetti collinari	-	-	-	58552,94
51222	Vasconi e canali per l'approvvigionamento dei campi	-	-	-	174982,85
5211	Lagune, laghi e stagni costieri	67742,42	347213,12	314671,07	192431,3
	<i>TOTALE CORPI IDRICI</i>	67742,42	361371,12	437377,43	524903,03

Tabella 3. Classi di uso e copertura del suolo relative a diverse annate, con indicazione delle voci descrittive di legenda e delle superfici occupate in mq ed in % sul totale della superficie dell'area in studio.

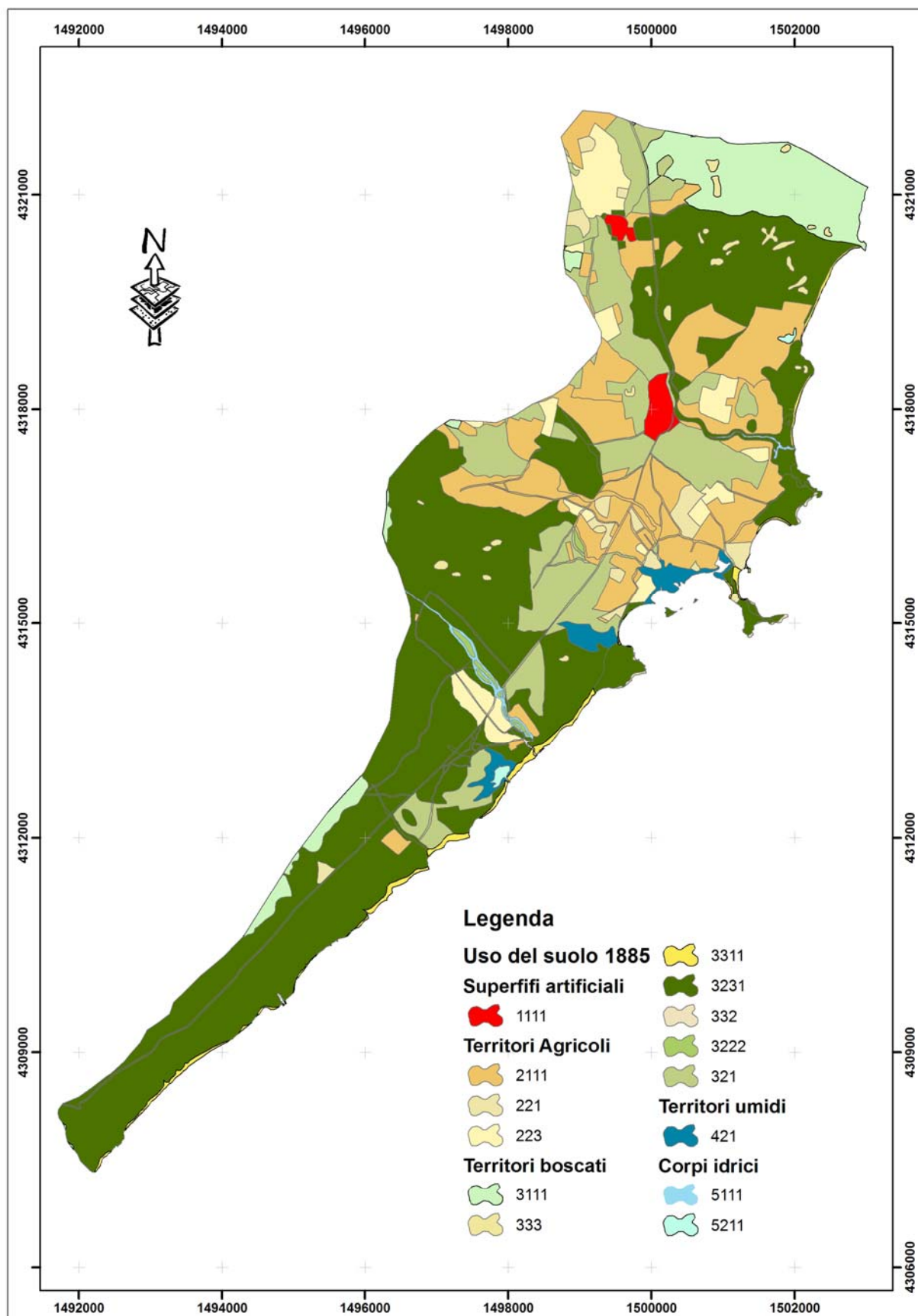


Figura 9. Carta dell'uso e della copertura del suolo relativa all'anno 1885, in legenda viene riportato il codice derivato appositamente per l'adattamento del livello informativo agli standard del progetto CORINE land cover.

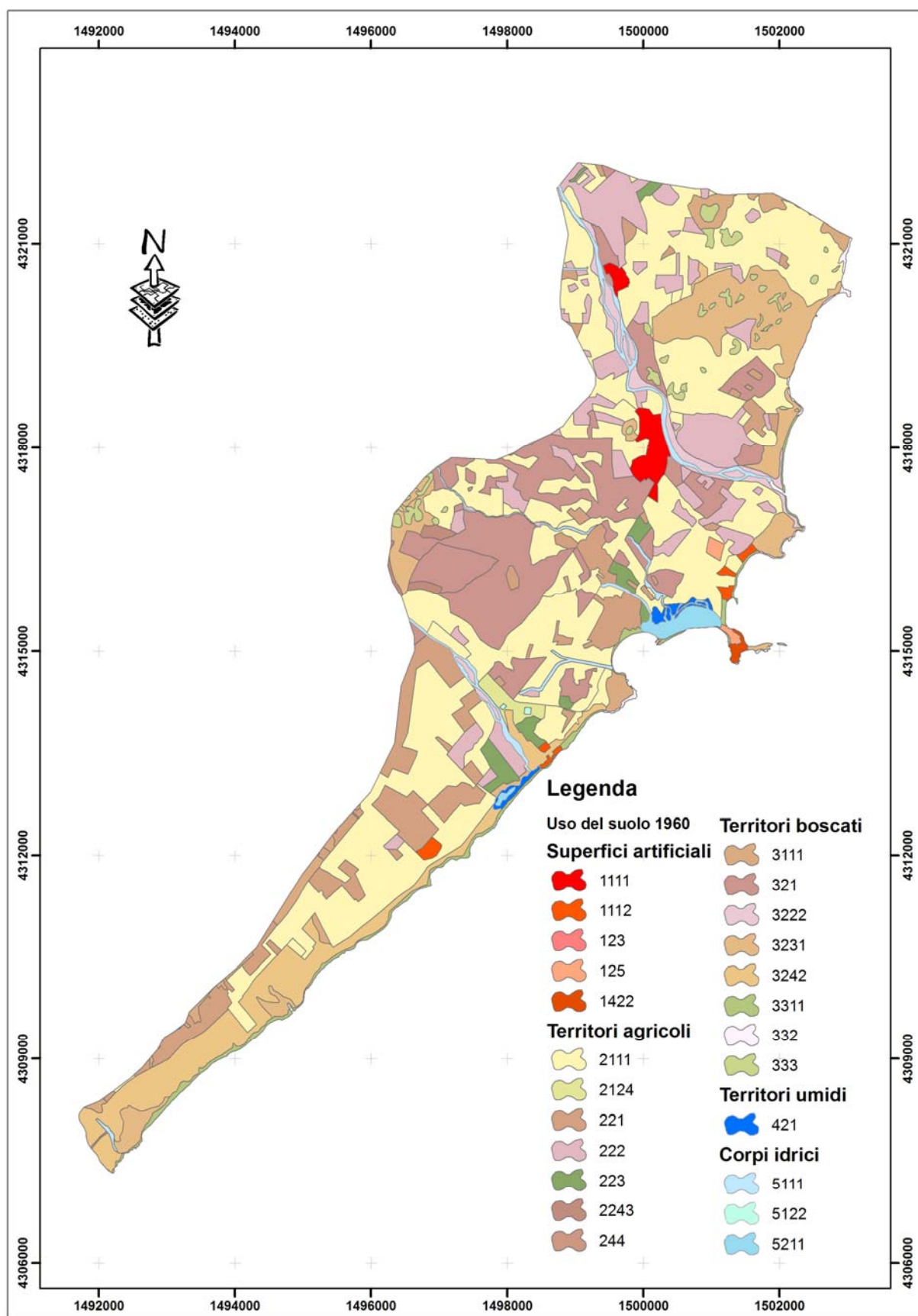


Figura 10. Carta dell'uso e della copertura del suolo relativa all'anno 1960, in legenda viene riportato il codice derivato appositamente per l'adattamento del livello informativo agli standard del progetto CORINE land cover.

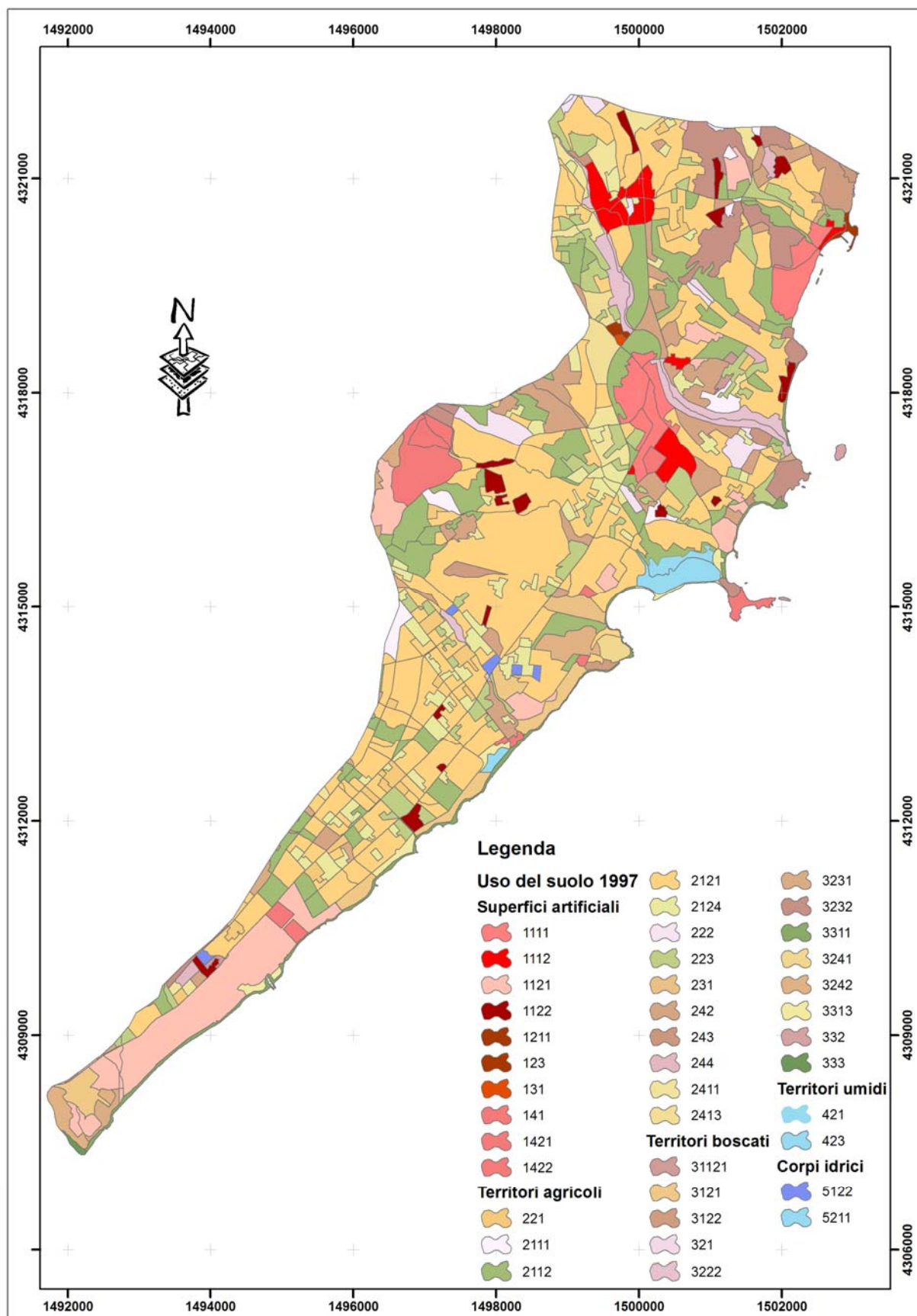


Figura 11. Carta dell'uso e della copertura del suolo relativa all'anno 1997, in legenda viene riportato il codice derivato appositamente per l'adattamento del livello informativo agli standard del progetto CORINE land cover.

4 Assetto geologico

Lo studio per la caratterizzazione geologica dei territori dell'area in studio è stato condotto partendo dalla cartografia geologica ufficiale (Carta Geologica della Sardegna scala 1:200000: Foglio 234 "Cagliari" e Foglio 239 – 240 "Teulada", Carta Geologica d'Italia scala 1:100000, Carta geologica e strutturale della Sardegna e della Corsica scala 1:500000), dalla ricerca bibliografica, dalla fotointerpretazione e dai rilievi in campo.

La metodologia ha pertanto previsto la redazione di un documento cartografico dal quale è stato successivamente estratto un livello informativo che fa parte integrante del *database* realizzato per la ricerca (vedi Figura 12).

Nel territorio suscitano, in cui è compresa la piana costiera di Pula, affiorano complessi litologici risalenti all'Era Paleozoica ed all'Era Terziaria, sui quali giacciono in modo più o meno esteso depositi del Quaternario. Elemento tettonico principale dell'area è costituito da una faglia diretta che lungo la zona pedemontana mette in contatto anomalo i depositi Terziari con le litologie cristalline del basamento paleozoico-ercinico.

Tale faglia, così come altre di minore importanza presenti nell'area, è riconducibile ai movimenti tettonici distensivi che nel Pliocene medio-superiore hanno prodotto lo sprofondamento della fossa (graben) del Campidano e, ad est della Sardegna, all'apertura del Tirreno meridionale.

Il territorio studiato è costituito da diverse formazioni geologiche costituite dai graniti del ciclo ercinico (Carbonifero sup.-Permiano inf.), da depositi di versante e colluvi in matrice sabbiosa (Pleistocene medio-sup), da andesiti del ciclo calcalcalino oligomiocenico in bancate e in facies conglomeratici, da alluvioni terrazzate, depositi alluvionali ghiaiosi e argilloso sabbioso ad elevato grado di cementazione (Pliocene medio-sup), oltre che da altre formazioni costituite da arenarie, argille e conglomerati di ambiente continentale della Formazione del Cixerri (Eocene medio - Oligocene inferiore ?).

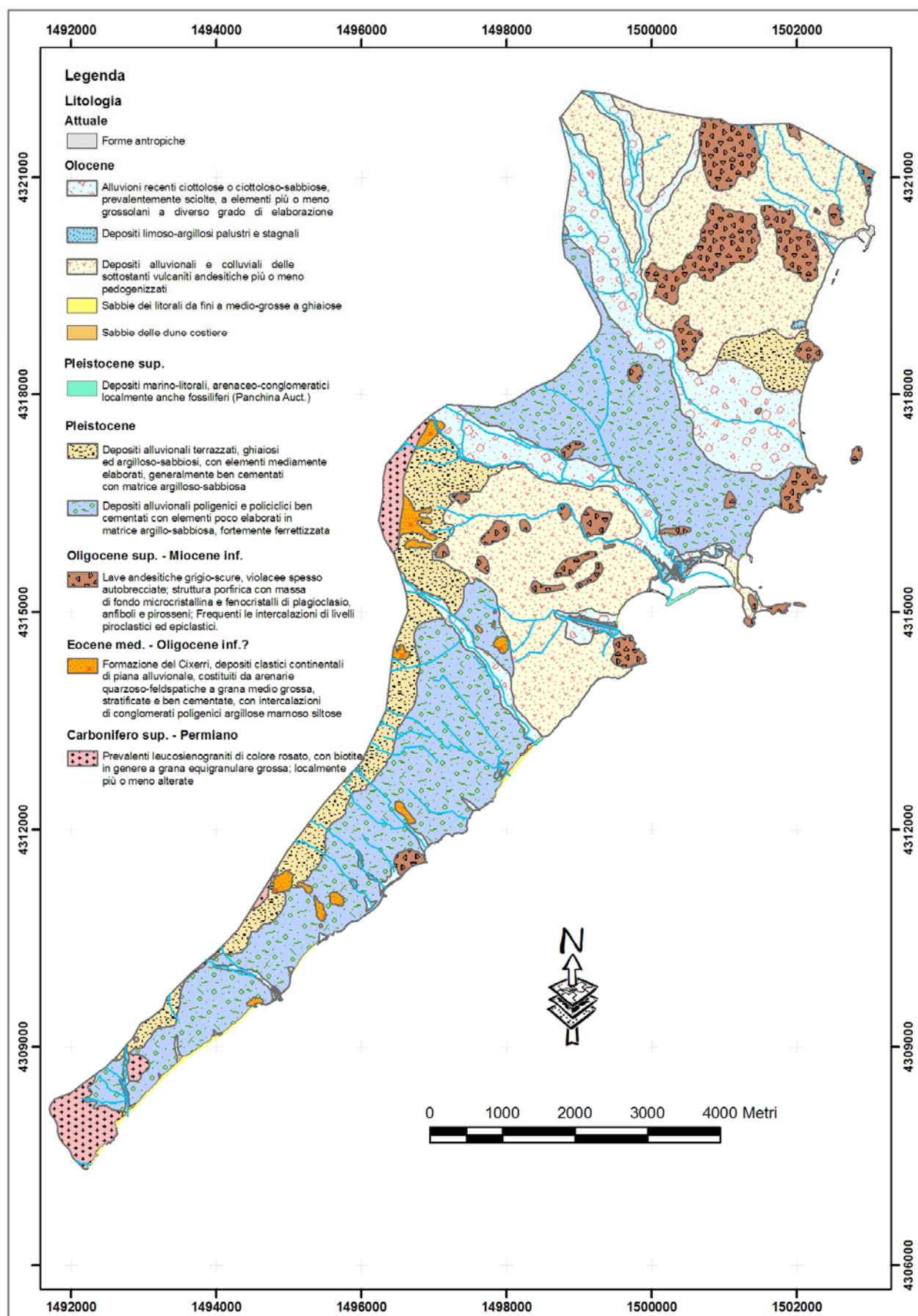


Figura 12. Carta geo-litologica estesa alla superficie totale considerata nella presente ricerca.

4.1 Complesso granitoide

I graniti affiorano soprattutto nel settore meridionale. Rappresentano la parte superficiale di un esteso corpo intrusivo la cui messa in posto, ascrivibile al ciclo magmatico dell'Orogenesi Ercinica, è responsabile del metamorfismo termico di contatto che ha interessato le rocce incassanti dell'area in esame.

Gli affioramenti granitici, spesso accompagnati da manifestazioni filoniane, si presentano con colorazione prevalentemente rosa, talvolta grigi, con struttura sia macro che microcristallina; la prima risulta più facilmente disaggregabile, mentre la seconda più compatta.

Spesso sono interessati da un reticolo di fratture che è concordante con la direzione delle principali linee di discontinuità del sistema campidanese, NW-SE e NE-SW. L'alterazione degli ammassi lapidei si presenta più o meno spinta a seconda che si tratti di fenomeni legati ad agenti esogeni o che si tratti di fenomeni tettonici; nel primo caso l'alterazione del granito interessa essenzialmente la parte superficiale, mentre nel secondo caso l'azione meccanica ha trasformato il granito in un materiale sostanzialmente incoerente, friabile, argillificato che può essere asportato con estrema facilità.

In corrispondenza delle fratture e delle faglie principali si possono osservare vere e proprie fasce di disturbo tettonico, dove la roccia è stata frantumata e polverizzata (brecce di frizione e miloniti).

Per quanto concerne il settore costiero, i graniti affiorano nei pressi dell'insediamento turistico di Perla Marina, nei pressi di Cala Bernardini e di Pinus Village, in cui l'affioramento granitico separa due tratti sabbiosi, la spiaggia di Santa Margherita e di Pinus Village, nelle vicinanze del canale Su Baracconi e ancora costeggiano per una piccola parte il lato sinistro della Strada Statale 195, all'altezza della Comunione delle Sirene; affiorano inoltre totalmente nella fascia montana nelle località Monte Gravellus e Monte Capiglia: in questi siti sono visibili le direzioni principali di tre famiglie di fratture, che risultano 45° N, 90° N, e 315° N. Nella zona residenziale di Capo Blu altri piccoli affioramenti granitici si presentano al chilometro 40,900 della succitata Strada Statale, su entrambi i lati.

4.2 La formazione del Cixerri

La formazione del Cixerri, istituita da Pecorini e Pomesano Cherchi nel 1969, è costituita da depositi clastici di antica piana alluvionale, costituiti da un'alternanza di arenarie quarzoso-feldspatiche, argille e limi rossastri, con intercalazioni di conglomerati poligenici (paleoalvei fluviali). Questi sedimenti fluviali rappresentano i prodotti dell'erosione di rilievi creati dai sollevamenti della Catena Pirenaica allorquando, durante l'Eocene, la Sardegna risultava ancora

collegata con il margine sud-europeo (fra Catalogna e Provenza), prima del distacco e migrazione verso est del blocco sardo-corso e l'apertura del bacino sardo-balearico-provenzale nel Miocene inferiore.

La parte più estesa della formazione affiora soprattutto nel Sulcis-Iglesiente, ma anche sul bordo orientale del graben campidanese e nella fascia costiera tra Pula e Sarroch.

I livelli marnoso-argillosi sono abbastanza incoerenti, mentre quelli arenacei che appaiono compatti, a cemento calcareo localmente con abbondanza di ossidi di ferro. I livelli conglomeratici sono invece poco classati e vi sono presenti elementi di calcare, quarzo, scisti e graniti. Morfometricamente questi elementi litoidi presentano un elevato grado di elaborazione e arrotondamento, originato sicuramente da trasporto fluviale avvenuto in clima temperato e deposizione in zona deltizia. Questi apporti detritici sono da attribuirsi al Luteziano (Eocene medio), ipotesi fondata sulla presenza di Carofite, verso la base della successione sedimentaria (Barberi & Cherchi, 1980). Inoltre la stessa ipotesi fu avvalorata da Pittau Demelia (1979) che, su base pollinica, giunse alla medesima conclusione.

La parte superiore della stessa Formazione è stata datata in modo relativo, poiché essendo nota l'età delle vulcaniti soprastanti le più antiche delle quali sono datate a 35 M.A. (Savelli et al., 1979; Montigny et al., 1981; Beccaluva et al., 1985), l'età dei sottostanti litotipi del Cixerri non può essere più recente dell'oligocene inferiore.

La Formazione del Cixerri è caratterizzata da strutture sedimentarie particolari, quali superfici di erosione, burrows, le tipiche gallerie scavate da organismi fossatori, load casts, solchi d'erosione, graded bedding e laminazioni parallele ed oblique.

L'ambiente di sedimentazione è di tipo lagunare, confermato anche da testimonianze di processi torbidity, nel settore orientale e meridionale (Barca e Palmerini, 1972), mentre, come già detto, è di tipo fluvio-deltizio nel settore occidentale.

La formazione affiora al chilometro 34,500 della Strada Statale n° 195 sul lato destro in direzione di Domus de Maria, al chilometro 37,500 della medesima strada, su entrambi i lati del ciglio stradale, al chilometro 39,500 nei pressi del Forte Village. Percorrendo la strada che conduce all'albergo Is Morus sono visibili dei campi arati la cui coltre pedogenetica deriva chiaramente dal disfacimento della Formazione del Cixerri, riconoscibili proprio per il colore arrossato. Nei pressi della Casa Cantoniera Mesao, sono visibili altri piccoli affioramenti della stessa Formazione del Cixerri. Nel litorale, la medesima formazione affiora in tutta l'area dell'Albergo Is Morus: qui è presente una piccola spiaggia di ciottoli in arretramento nella quale si osservano chiaramente le arenarie del Cixerri che rallentano l'erosione della stessa spiaggia operata dal moto ondoso. Nei pressi del porticciolo di Cala Verde la stessa Formazione è affiorante sia alla destra che alla sinistra dei due moli, in taluni punti è ricoperta da alluvioni antiche e paleosuoli arrossati. La Formazione del Cixerri si estende, dal molo destro del porticciolo, fino all'estremità sinistra del Forte Village.

4.3 Le vulcaniti oligomioceniche

I loro affioramenti costituiscono il distretto vulcanico di Sarroch-Pula. Trattasi di lave andesitiche grigio-scure o violacee per alterazione idrotermale, spesso autobrecciate.

La struttura è porfirica per fenocristalli di plagioclasti, anfiboli e pirosseni. Frequenti sono le intercalazioni di prodotti piroclastici ed epiclastici. La giacitura è in brevi colate duomi e dicchi. Questo vulcanismo è riconducibile agli importanti movimenti geodinamici che nel Mediterraneo occidentale, fra l'Oligocene superiore ed il Miocene inferiore, causarono oltre alla migrazione del micro-continente sardo-corso anche al sollevamento della Catena Appenninica settentrionale.

Le rocce relative a questa tipologia, affioranti nell'area di studio sono frammenti subvulcanici e sequenze andesitiche, che assumono caratteristiche di conglomerato a cemento compatto con differenti gradi di alterazione e quindi di colorazione; gli inclusi sono parte di vari tipi di lave andesitiche fuoriuscite dai centri di emissione nei pressi di Sarroch ed ormai erose. Il cemento si presenta compatto. E' stato comprovato che questi litotipi sono stratigraficamente inferiori ai sedimenti relativi alla trasgressione miocenica che iniziò nell'Aquitano inferiore (Cherchi, 1985), la loro età è quindi di circa 25 M.A.

Affiorano principalmente nella fascia costiera in particolare sono ben visibili in prossimità della torre di Cala D'Ostia sottoforma di grossi blocchi e nella zona archeologica di Nora, oltre che a Nord di porto Columbu.

4.4 Le coperture sedimentarie superficiali del Quaternario

Le litologie terziarie sono ricoperte, nella zona a valle e nel settore costiero, da formazioni quaternarie che si distinguono in depositi alluvionali e depositi costieri di ambiente marino e transizionale a loro volta differenziati in depositi di laguna o stagno di retrospiaggia, depositi di duna e depositi di spiaggia. I depositi quaternari occupanti gran parte della piana di Pula, dalla fascia pedemontana alla costa, sono prevalentemente rappresentati da più generazioni di sedimenti fluviali di conoide e di piana alluvionale del Pleistocene (Quaternario antico), reincisi (terrazzi) poi dall'idrografia recente. Testimoniano l'evoluzione geomorfologica dell'area in studio e sintetizzano i processi morfodinamici che si sono alternati durante l'ultimo periodo geologico fino al tempo attuale, passando per fasi temporali caratterizzate da condizioni climatiche diverse da quelle attuali e quindi in scenari paleogeografici sostanzialmente differenti dove si sono alternati cicli di sedimentazione ed erosione con diversa energia dando origine all'attuale morfologia a terrazzi.

Queste alluvioni si rilevano nell'intera area e si presentano in diverse facies sedimentarie, depositi alluvionali poligenici e policiclici ben cementati con elementi poco elaborati in matrice argillo-sabbiosa, fortemente ferrettizzata, presenti nella zona costiera oppure come depositi,

ghiaiosi ed argilloso-sabbiosi, con elementi mediamente elaborati, generalmente ben cementati con matrice argilloso-sabbiosa presenti nella parte mediana dell'area studiata.

Altri depositi alluvionali e colluviali di natura ghiaioso-sabbioso-limosa, in genere sciolti, sono invece riferibili al Quaternario recente ed attuale (Olocene).

Si tratta di depositi alluvionali e colluviali che derivano dallo smantellamento delle sottostanti vulcaniti andesitiche più o meno pedogenizzati e di alluvioni recenti ciottolose o ciottoloso-sabbiose, prevalentemente sciolte, a elementi più o meno grossolani a diverso grado di elaborazione. Queste alluvioni attuali sono quelle che si rilevano nelle aree che sono state e sono attualmente oggetto di divagazione fluviale, queste superfici sono pianeggianti e si riesce a individuarle perché comprese tra orli di terrazzi di alluvioni recenti oppure perché attualmente soggette a deposito di sedimenti. Questi depositi alluvionali attuali sono costituiti da ciottoli eterometrici, ghiaie, sabbie e limi argillosi, distribuiti in funzione della energia della corrente di trasporto. I sedimenti sono sciolti e soggetti facilmente e continuamente a erosione e trasporto, ovviamente nei settori dell'alveo dove la corrente ha energia sufficiente per innescarne il movimento. L'erosione di questi sedimenti attuali avviene sui depositi lasciati dalle correnti in un episodio di piena alluvionale e quindi con l'incisione degli stessi nel periodo di calo del deflusso, o durante un nuovo episodio di piena alluvionale e trasportati sul fondo, in forma di rotolamento e trascinamento, ed in sospensione. Viceversa gli stessi sedimenti vengono depositati in settori in cui la corrente non ha più energia sufficiente per continuarli a trasportarli, tale fenomeno è spesso determinato dalla presenza di ostacoli naturali (fitta vegetazione) o antropici (recinzioni, luci di ponti insufficienti, rifiuti e materiali ingombranti) oppure dalle condizioni morfologiche, naturali o antropiche, che permettono la divagazione delle acque di deflusso facendo perdere velocità alla corrente e conseguentemente energia e carico solido sedimentabile.

Nella parte terminale dei vari Rii, e in alcune zone costiere (in prossimità di Nora), i sedimenti alluvionali attuali passano senza nette differenziazioni, in eteropia di facies verso depositi sedimentari di ambiente geografico di transizione marino – continentale.

Pertanto in questo settore della piana i sedimenti delle alluvioni attuali hanno granulometria inferiore, essi appaiono in sostanza costituiti da sabbie fini, limose, con ghiaie e da limi sabbioso argillosi in funzione dell'ambiente deposizionale; infatti questi ultimi sedimenti fini, di colore bruno molto scuro, dovuto alla presenza di una elevata componente organica, molto compatti e omogenei si rilevano nell'immediato settore di retroduna e sono interpretati come depositi di stagno o laguna.

Nella fascia costiera sono poi presenti, in settori limitati, discontinui e poco potenti lembi di depositi arenaceo-conglomeratici cementati, di ambiente marino litorale, contenenti resti fossili di molluschi (gasteropodi, bivalvi), coralli, ecc..

Sono riconducibili al piano Tirreniano (Pleistocene sup.: interglaciale Riss-Wurm) ed alla facies di "panchina", testimonianza di un antico livello di spiaggia di clima caldo intertropicale.

Il piano Tirreniano fu istituito da Issel nel 1914 a seguito dei suoi studi sul livello a *Strombus Bubonius* affiorante a Cala Mosca; dopo di lui furono in molti a continuare questi studi e venne introdotto in seguito il termine "panchina", (Ciampi, 1922), ormai di uso comune (Ulzega, 2002).

Sulla datazione e sub-datazione non vi è ancora pieno accordo tra gli autori; infatti inizialmente il piano tirreniano di Issel fu suddiviso in Tirreniano I e Tirreniano II da Blanc nel 1938; in seguito, furono Bonadonna e Bigazzi (1970) a esprimersi ipotizzando tre eventi trasgressivi: Tirreniano I, corrispondente al Paleotirreniano, datato circa 200.000 anni B.P., Tirreniano II, corrispondente all'Eutirreniano, datato circa 140.000 anni B.P. e infine, Tirreniano III, corrispondente al Neotirreniano e datato circa 80000 B.P.

In Sardegna, furono Pecorini (1954) e Maxia e Pecorini (1968) a suddividere il piano tirreniano di Issel in Tirreniano I, corrispondente all'interglaciale Mindel-Riss e Tirreniano II, corrispondente all'interglaciale Riss-Wurm.

Molto più recentemente, e in seguito anche alle Tavole Rotonde dell'INQUA, che accesero fortemente questo dibattito, Ozer et al. (1980) e Ulzega e Ozer (1982), articolano il Tirreniano in un Paleotirreniano basale seguito da un Eutirreniano eroso, ricoperto, in ultimo, da un Neotirreniano sormontato dai depositi continentali wurmiani.

Gli stessi autori proposero anche l'istituzione delle formazioni di San Giovanni, Santa Reparata, Cala Mosca e San Giuseppe, per quanto concerne poi il Pleistocene superiore della Sardegna.

Belluomini et al (1985), mediante il metodo della racemizzazione degli aminoacidi su gusci di *Glycimeris*, ha individuato due pulsazioni trasgressive eutirreniane datate a 150000 e 115000 anni B.P.

La glaciazione wurmiana, immediatamente susseguente all'interglaciale Riss-Wurm, portò il livello medio del mare anche a 130 m in meno di quello attuale: Ulzega, Leone, Lecca, Carboni nel 1979, hanno, in questo modo, individuato il bordo della piattaforma continentale della Sardegna. Circa 18000 anni B.P. si ebbe il massimo regressivo wurmiano, seguito dall'avanzare della Trasgressione Versiliana, la quale portò depositi marini fino a circa + 1 m (Issel, 1914 e Gortani, 1922). Tuttavia, è da dire che la risalita versiliana è stata abbastanza discontinua, caratterizzata dunque da intervalli pulsativi e anche da qualche picco regressivo.

La spiaggia emersa, escludendo limitatissimi settori in cui si rileva la presenza di ciottoli o blocchi, è prevalentemente costituita da sabbie fini e medie quarzose feldspatiche con presenza di minerali fillosilatici, biotiti di dimensione millimetrica, e presenza di materiali molto fini.

Lo studio dell'assetto geologico dell'area interessata dalla presente ricerca è stato terminato con la realizzazione di un *dataset* appositamente progettato e costruito tramite digitalizzazione a monitor e compilazione degli attributi alfanumerici al fine di poter essere integrato nel *database* generale e per dover contenere informazioni geoderivate molto importanti e determinanti per lo sviluppo delle applicazioni per il raggiungimento degli obiettivi preposti nella fase di programmazione della ricerca stessa. Il *dataset* geologico ricopre pertanto un ruolo fondamentale nel presente *database* e in generale nell'analisi territoriale.

L'analisi spaziale e statistica condotta sul *dataset* della geologia ha consentito di quantificare la distribuzione delle superfici caratterizzate dalla presenza o dall'affioramento delle diverse litologie rilevate; i risultati dell'analisi spaziale sono stati processati per mezzo di procedure condotte su fogli di calcolo elettronico e riassunti in tabelle e grafici.

Per una migliore rappresentazione a ogni litologia è stata associata una sigla (Tabella 4).

SIGLA	DESCRIZIONE DELLA LITOLOGIA (LEGENDA)
Antr.	Forme antropiche. Attuale
Pal	Depositi limoso-argillosi palustri e stagnali. Olocene
Sa	Sabbie dei litorali da medio-grosse a ghiaiose, sino a ghiaie. Olocene
Eol.2	Sabbie delle dune costiere. Olocene
Ti	Depositi marino-litorali, arenaceo-conglomeratici localmente anche fossiliferi (Panchina Auct.). Pleistocene sup. (Tirreniano)
AI 4	Alluvioni recenti ciottolose o ciottoloso-sabbiose, prevalentemente sciolte, a elementi più o meno grossolani a diverso grado di elaborazione. Olocene
AI 3	Depositi alluviali e colluviali delle sottostanti vulcaniti andesitiche più o meno pedogenizzati. Olocene
AI 2	Depositi alluvionali poligenici e policiclici ben cementati con elementi poco elaborati in matrice argillo-sabbiosa, fortemente ferrettizzata. Pleistocene
AI 1	Depositi alluvionali terrazzati, ghiaiosi ed argilloso-sabbiosi, con elementi mediamente elaborati, generalmente ben cementati con matrice argilloso-sabbiosa. Pleistocene
Va	Lave andesitiche grigio-scuri, violacee spesso autobrecciate; struttura porfirica con massa di fondo microcristallinae fenocristalli di plagioclasio, anfiboli e pirosseni; frequenti le intercalazioni di livelli piroclastici ed epiclastici. Oligocene sup. - Miocene inf.
Cix	Formazione del Cixerri, depositi clastici continentali di piana alluvionale, costituiti da arenarie quarzoso-feldspatiche a grana medio grossa, stratificate e ben cementate, con intercalazioni di conglomerati poligenici argillose marnoso siltose Eocene medio – Oligocene inf?
G	Prevalenti leucosienograniti di colore rosato, con biotite, in genere a grana equigranulare grossa; localmente più o meno alterate. Carbonifero sup. - Permiano

Tabella 4. Tabella esplicativa per l'indicizzazione delle litologie tramite sigle, così come rappresentate nella legenda della Carta geolitologica dell'area in studio.

Utilizzando le sigle proposte nella Tabella 4 vengono illustrati i dati riassuntivi relativi alla geolitologia, sia per quanto riguarda le singole superfici, caratterizzate da ogni litologia e sia per quanto riguarda la loro distribuzione percentuale sul totale dell'area in studio.

SIGLA	SUPERFICIE mq	SUPERFICIE (%)
Antr.	53077,53	0,12
Pal	227709,48	0,52
Sa	248437,48	0,57
Eol.2	16436,63	0,04
Ti	26068,68	0,06
Al 4	7027175,77	16,19
Al 3	12807009,72	29,50
Al 1	4059935,33	9,35
Al 2	13645338,67	31,43
Va	3576546,02	8,24
Cix	521841,21	1,20
G	1204001,62	2,77

Tabella 5. Tabella riassuntiva delle superfici in mq caratterizzate da ogni singola litologia e della loro distribuzione percentuale sul totale dell'area in studio.

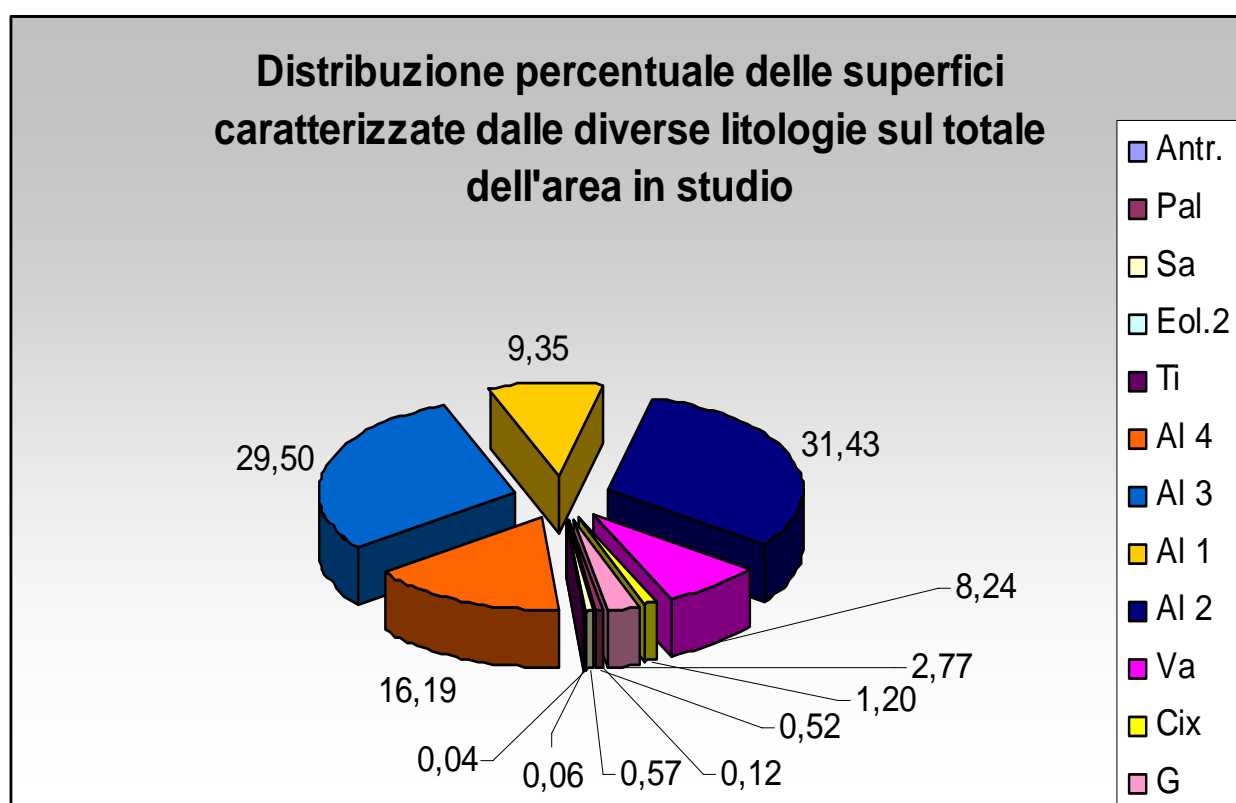


Figura 13 Grafico della distribuzione percentuale delle superfici caratterizzate da ogni singola litologia, identificata con la sigla precedentemente proposta, sul totale dell'area in studio.

Dalla Tabella 5 e dal grafico di Figura 13 si evincono importanti informazioni relativamente alla caratterizzazione fisica del territorio in studio in termini geolitologici, infatti appare chiaro che

le coperture sedimentarie superficiali del Quaternario caratterizzano il territorio con una percentuale prossima al 87%. Si può notare ancora che le coperture superficiali sedimentarie del Quaternario, alluvioni attuali e recenti (40 %), sciolte o con basso grado di addensamento, sono soggette in maniera concreta a processi erosivi importanti.

4.5 Permeabilità delle formazioni geologiche

Il *dataset* della geologia risulta di primaria importanza per quanto riguarda la derivazione di informazioni relative alle caratteristiche di permeabilità delle formazioni geologiche al fine di proporre una suddivisione del territorio in termini di gradi qualitativi di permeabilità, attraverso i quali descrivere il comportamento idrogeologico dei settori di territorio caratterizzati da diverse litologie con diversa attitudine alla infiltrazione delle acque.

Per esempio il calcolo del bilancio idrogeologico di un territorio parte proprio dalla considerazione che questo sia suddiviso in settori con diverso comportamento idrogeologico nei riguardi dell'infiltrazione e del ruscellamento.

La definizione qualitativa in termini di permeabilità delle litologie che costituiscono il *dataset* della geologia, consente di predisporre un livello informativo derivato che è quello della permeabilità delle formazioni geologiche. Vengono quindi distinte sette classi di permeabilità basando la suddivisione sulle caratteristiche fisiche e di alterazione dei diversi litotipi rilevati.

Alle coperture quaternarie oloceniche costituite da depositi alluvionali ciottolosi e sabbiosi viene assegnata la classe più alta per porosità, mentre a quelli colluviali pedogenizzati viene assegnata la classe medio bassa per porosità così come ai depositi alluvionali più antichi, addensati e talvolta cementati. Alle formazioni andesitiche, poco alterate e fratturate, viene assegnata la classe bassa per fessurazione, ai graniti spesso alterati anche in profondità fratturate, viene assegnata la classe medio bassa per fessurazione, alla formazione del Cixerri costituita da depositi clastici, costituiti da arenarie quarzoso-feldspatiche, argille e limi viene assegnata la classe più bassa per porosità così come ai depositi olocenici limo-argillosi di origine palustre e infine ai depositi tirreniani viene assegnata la classe media per porosità.

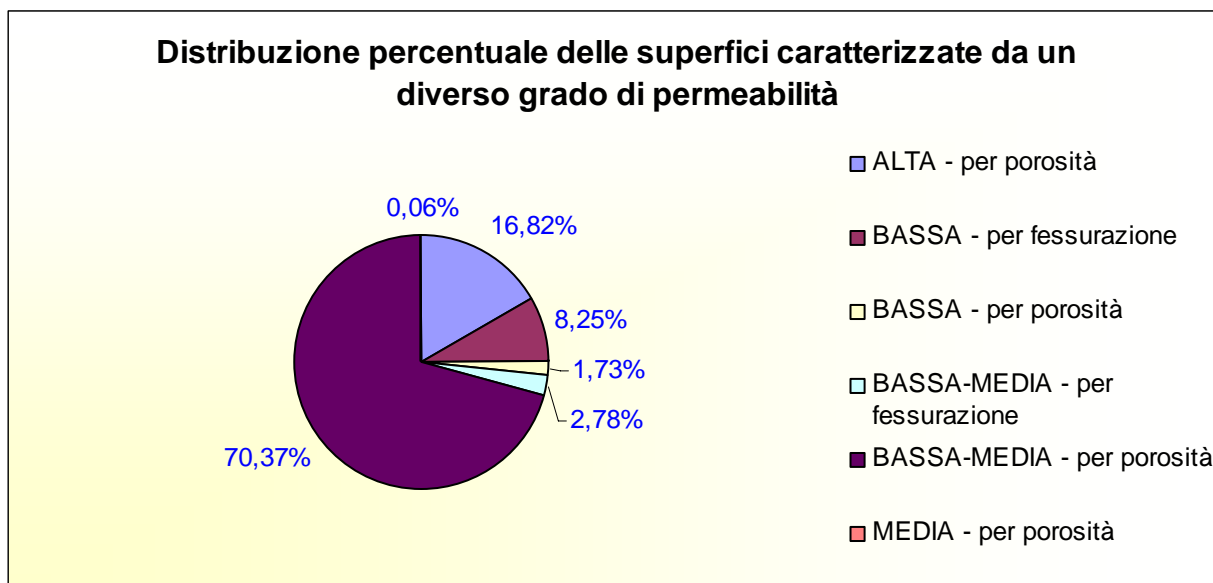


Figura 14. Grafico della distribuzione percentuale delle superfici caratterizzate da diverso grado di permeabilità, sul totale dell'area in studio.

In conclusione si può chiaramente affermare che il *dataset* della geologia consente di avere notevoli informazioni per quanto riguarda l'assetto fisico dell'area in studio, non solo perché contiene dati sulle litologie affioranti o rilevabili, ma anche perché si rivela documento di base per la derivazione di tante informazioni geotematiche ed inoltre perché permette di analizzare la storia geologica passata del territorio e pertanto di conoscere consapevolmente la situazione geologica attuale e di poter ricavare informazioni sulla futura evoluzione.

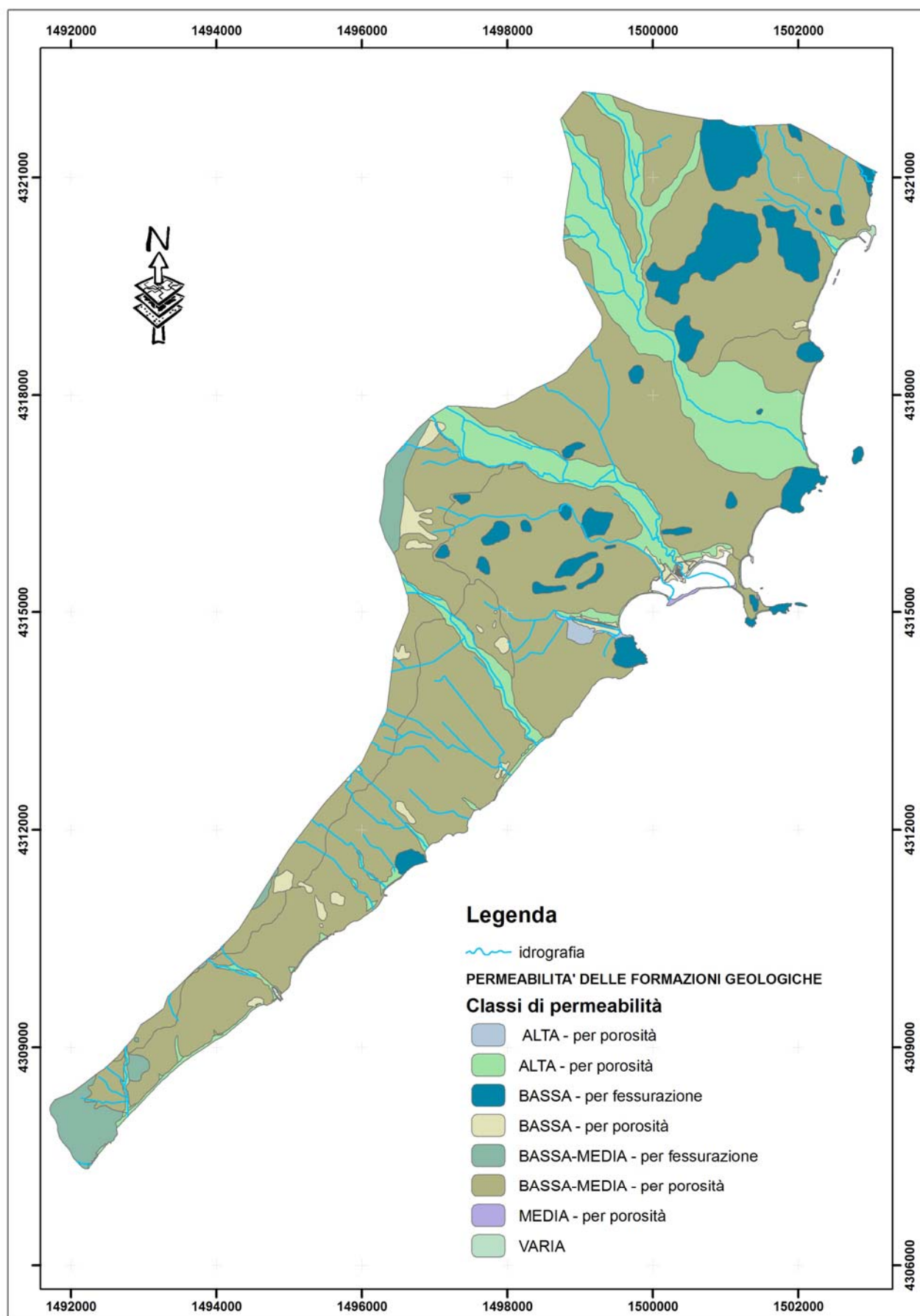


Figura 15. Carta della permeabilità delle formazioni geologiche caratterizzanti l'area in studio.

5 Geositi

Solo negli anni recenti, i monumenti naturali intesi come geositi e geomorfositi hanno finalmente destato l'interesse dei responsabili della gestione del territorio, nonostante sia la L. 1497/1939 che la L. 431/1985 avessero già ampiamente previsto la tutela delle bellezze naturali e delle singolarità geologiche nonché di intere categorie di beni, quali coste, montagne, vulcani, rive fluviali ecc.

In tale ottica anche il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Cagliari, sotto l'egida del Prof. Di Gregorio, ha avviato un progetto di ricerca inerente il censimento e la classificazione dei geositi e geomorfositi relativamente a tutta la regione.

5.1 Geositi e geomorfositi

L'area di tesi è caratterizzata da otto importanti evidenze geologiche e geomorfologiche, suddivise in quattro tipici geositi e quattro geomorfositi. I geositi sono ubicati prevalentemente nella zona più occidentale dell'area indagata ad eccezione del "tirreniano di Nora" che si rinviene nei pressi della Peschiera di Nora. Il geosito è costituito da un importante affioramento di sedimenti tirreniani che origina uno sbarramento alla terra ferma che permette la formazione della laguna. Tali depositi tirreniani si elevano per un'altezza di circa 4 m s.l.m., poggiando su una piattaforma di abrasione marina, e rappresentano una paleospiaggia quaternaria costituita da sedimenti calcarenitici e bioclastici, contenenti una fauna a molluschi di clima caldo di affinità senegalese. Più a Ovest, si rinvencono altri tre importanti geositi, tra i quali due particolari contatti stratigrafici, (il Contatto tra le cineriti terziarie e le alluvioni antiche terrazzate, in prossimità di Cala d'Ostia e quello tra la formazione del Cixerri e le Alluvioni antiche, nei pressi di Cala Verde) e lo "Specchio di Faglia di Santa Margherita" in prossimità del Rio Pedroso, all'altezza del Km 39 della Strada Sulcitana.

Tra i quattro geomorfositi si cita innanzitutto l'arco di Santa Vittoria, di importanza regionale, in località Monte S. Vittoria. Si tratta di un'ampia apertura ricavata nelle andesiti anfiboliche in bancate, di un costone roccioso del Monte Santa Vittoria, protesa verso il mare. E' opportuno sottolineare comunque che la morfologia assunta al momento attuale è attribuibile anche alle modificazioni antropiche occorse nel tempo per via dei ricercatori di minerali. Un altro importante geomorfosito è l'isola di San Macario: essa, costituita dalle vulcaniti andesitiche anfiboliche del ciclo oligo-miocenico, è parte del complesso dei rilievi vulcanici di Sarroch ed è l'unico testimone degli stessi in mare. Il versante dell'isola rivolto a est si presenta roccioso e molto acclive, mentre quello che volge a ovest ha una morfologia più dolce ed ha una superficie coperta di suolo e vegetazione.

Il terzo geomorfosito è quello di Rocca Su Casteddu: esso è un domo dissimetrico impostato sugli ortogneiss di Monte Filau, derivante dal metamorfismo delle magmatici acide ordoviciane. Il domo è fortemente asimmetrico per via di un dirupo, dovuto a una frattura, evidente nel lato ovest.



Figura 16. Faglia di Santa Margherita, contatto tra la formazione del Cixerri e alluvioni antiche.

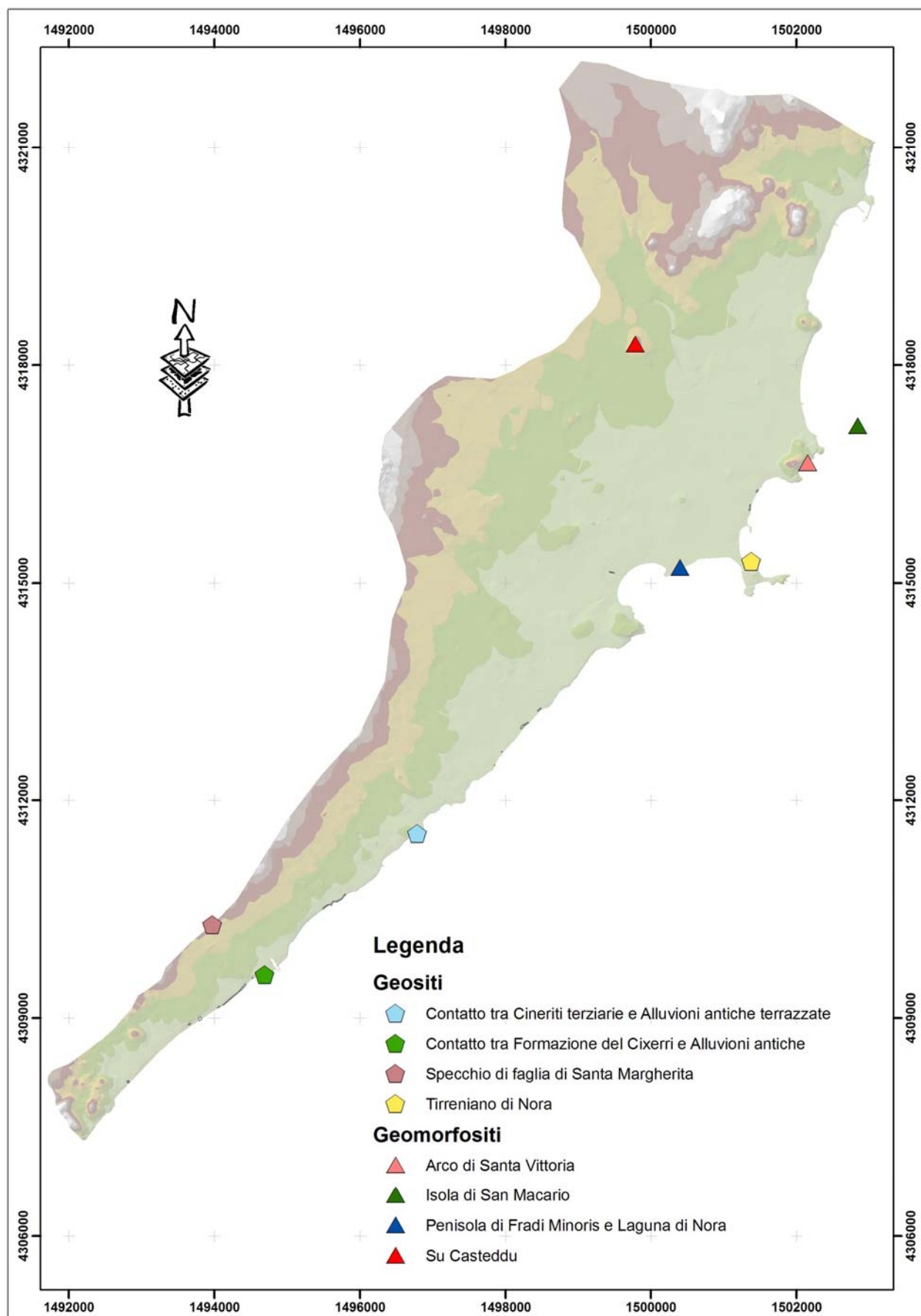


Figura 17. Geositi e geomorfositi presenti nell'area di studio.

6 Ambiente biologico

6.1 Copertura vegetale

La vegetazione è una componente fondamentale del paesaggio, in quanto è parte strutturale e funzionale degli ecosistemi, pertanto risulta necessario prevedere una metodologia idonea alla sua analisi al fine di comprendere tale componente nelle scelte e decisioni previste nell'ambito della pianificazione territoriale.

La Carta dei Paesaggi Vegetali, in scala 1: 10.000, è stata elaborata secondo un criterio di analisi fisionomica della vegetazione e senza entrare nel dettaglio delle associazioni vegetali così come invece prevederebbe una Carta Fitosociologica; l'obiettivo di tale analisi è quello di fornire un quadro conoscitivo esauriente della fisionomia della vegetazione e, conseguentemente, anche un'indicazione qualitativa della biodiversità e della qualità dell'ambiente naturale.

La metodologia utilizzata per la redazione della Carta dei Paesaggi Vegetali, si è basata sull'analisi e interpretazione della Carta dell'Uso del Suolo, di cui ha ripreso la poligonatura, e ha previsto inoltre l'utilizzo di:

- ortofoto;
- foto aeree;
- Carta Fitosociologica della Provincia di Cagliari;
- Carta Forestale della Sardegna.

Nella redazione della carta si sono analizzate con maggior dettaglio le categorie dell'UDS aventi più interesse naturalistico-ambientale (come ad esempio i territori boscati), mentre per le porzioni di territorio antropizzate, di scarso o nullo interesse vegetazionale, si sono realizzati degli accorpamenti riconducibili perlopiù al secondo livello della CORINE.

Successivamente, partendo dagli accorpamenti fatti alle voci della legenda dell'UDS, la metodologia utilizzata ha previsto l'individuazione dei caratteri fisionomici dei principali tipi di vegetazione incontrati e la definizione dei nomi delle principali specie vegetali che caratterizzano i vari tipi di paesaggio vegetale dell'area di studio.

La carta elaborata consente di fornire un quadro fisionomico più dettagliato della vegetazione dell'area di studio rispetto alla carta dell'uso del suolo, consentendo di valutare entità delle aree sensibili e delle pressioni antropiche esistenti.

L'inserimento della carta nel SIT può risultare utile alla realizzazione di diverse analisi, come la valutazione del rischio idrogeologico mediante sovrapposizione con la Carta dei Suoli e la Carta delle Acclività o l'individuazione degli habitat di interesse vegetazionale.

Codice UDS	Paesaggi vegetali	Codice	Superficie (mq)	Superficie (%)
3311, 3313	Spiagge con lembi di vegetazione psammofila caratterizzati da <i>Cakile maritima</i> , <i>Agropyrum junceum</i> e <i>Ammophila littoralis</i>	1	406730,67	0,94%
3322	Rupi costiere con presenza di <i>Crithmum maritimum</i> e <i>Limonium</i> sp. pl.	2	143885,24	0,33%
333	Aree stagnali costiere caratterizzate da formazioni vegetali alofile a prevalenza di <i>Arthrocnemum fruticosum</i> , <i>Arthrocnemum glaucum</i> , <i>Halimione portulacoides</i>	3	141328,87	0,33%
421	Aree palustri caratterizzate da <i>Phragmites australis</i> , <i>Typha</i> sp., <i>Juncus</i> sp. pl.	4	341207,54	0,79%
3222	Boscaglia ripariale che caratterizza i corsi d'acqua a flusso intermittente con prealenza di <i>Tamarix</i> spp. e <i>Nerium oleander</i>	5	752117,80	1,74%
3222	Boscaglia ripariale che caratterizza i corsi d'acqua a carattere permanente con presenza di <i>Salix</i> spp., <i>Populus alba</i> , ecc.	6	230035,08	0,53%
321	Aree degradate, spesso adibite a pascolo, caratterizzate da popolamenti terofitici, con presenza ricorrente di <i>Asphodelus</i> sp.	7	598930,91	1,39%
3321	Aree rocciose interne colonizzate da specie riferibili alle formazioni vegetali circostanti	8	10323,78	0,02%
3232	Gariga prevalentemente a <i>Lavandula stoechas</i> e <i>Cistus</i> sp. pl.	9	1117144,36	2,59%
32311	Macchia mediterranea bassa a prevalenza di <i>Cistus monspeliensis</i> e <i>Cistus salvifolius</i> , localmente ad <i>Artemisia arborescens</i>	10	1459219,25	3,38%
32312	Macchia mediterranea alta caratterizzata da <i>Arbutus unedo</i> , <i>Erica arborea</i> , <i>Phillyrea latifolia</i>	11	257354,86	0,60%
31111, 32312	Macchia boscaglia (21-50%) o lembi di macchia boscaglia caratterizzati da <i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i> , <i>Juniperus phoenicea</i> , <i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Ceratonia siliqua</i> e <i>Phillyrea latifolia</i>	12	82300,55	0,19%
31112, 32311	Macchia boscaglia (51-80%) o lembi di macchia boscaglia caratterizzati da <i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i> , <i>Juniperus phoenicea</i> , <i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Ceratonia siliqua</i> e <i>Phillyrea latifolia</i>	13	1032977,66	2,39%
1411, 14211, 1213, 11211	Pinete litoranee di tipo artificiale con insediamenti	15	2365057,77	5,48%
31122	Lembi residui di formazioni boschive a prevalenza a <i>Quercus suber</i>	16	38387,78	0,09%
3241	Incolti, avanzata reinvasione di specie arbustive	17	911560,27	2,11%
2111, 2112, 2124, 231	Seminativi	18	16949120,40	39,24%
221, 222, 223	Colture permanenti (frutteti, vigneti, oliveti)	19	4257701,48	9,86%
242, 2411, 2413	Zone agricole eterogenee con colture temporanee associate a colture permanenti	20	3266311,49	7,56%
31121	Parcelle rimboschite per arboricoltura ad <i>Eucalyptus</i> sp. pl.	21	611283,45	1,42%

Codice UDS	Paesaggi vegetali	Codice	Superficie (mq)	Superficie (%)
3242	Rimboschimenti a Pinus pinea, Pinus halepensis, Eucaliptus sp. pl., localmente a Pinus canariensis	22	1108113,89	2,57%
1322, 1331	Zone estrattive, discariche e cantieri	23	56148,38	0,13%
1211	Zone industriali e commerciali	24	478032,76	1,11%
1112, 1122, 11211, 11212	Insedimenti residenziali	25	3374937,11	7,81%
1412, 14211, 14212	Zone verdi artificiali	26	1281289,36	2,97%
1221	Strade e spazi accessori	27	1399252,96	3,24%
5111, 5112	Corsi d'acqua e canali	28	98935,94	0,23%
51222	Bacini artificiali	29	233535,79	0,54%
5211	Lagune, laghi e stagni costieri	30	192431,3	0,45%

Tabella 6. Paesaggi vegetali, con indicazione delle classi dell'uso del suolo da cui sono derivate, del codice identificativo e delle superfici occupate in mq ed in % sul totale della superficie dell'area in studio.

Dall'esame della carta dei paesaggi vegetali risulta che l'area in esame presenta una varietà di ambienti vegetali notevole, che vanno da quelli costieri delle spiagge e dello Stagno di Nora, ai residui di boscaglia ripariale lungo il Rio Pula e gli altri corsi d'acqua, sino ai lembi di macchia-boscaglia delle zone collinari. Queste ultime, laddove risultano più soggette alla antropizzazione, mostrano vari stadi della degradazione che vanno dalla macchia alta, alla macchia bassa fino alla gariga e al pascolo.

Nel grafico seguente viene indicata la distribuzione percentuale delle categorie di paesaggi vegetali.

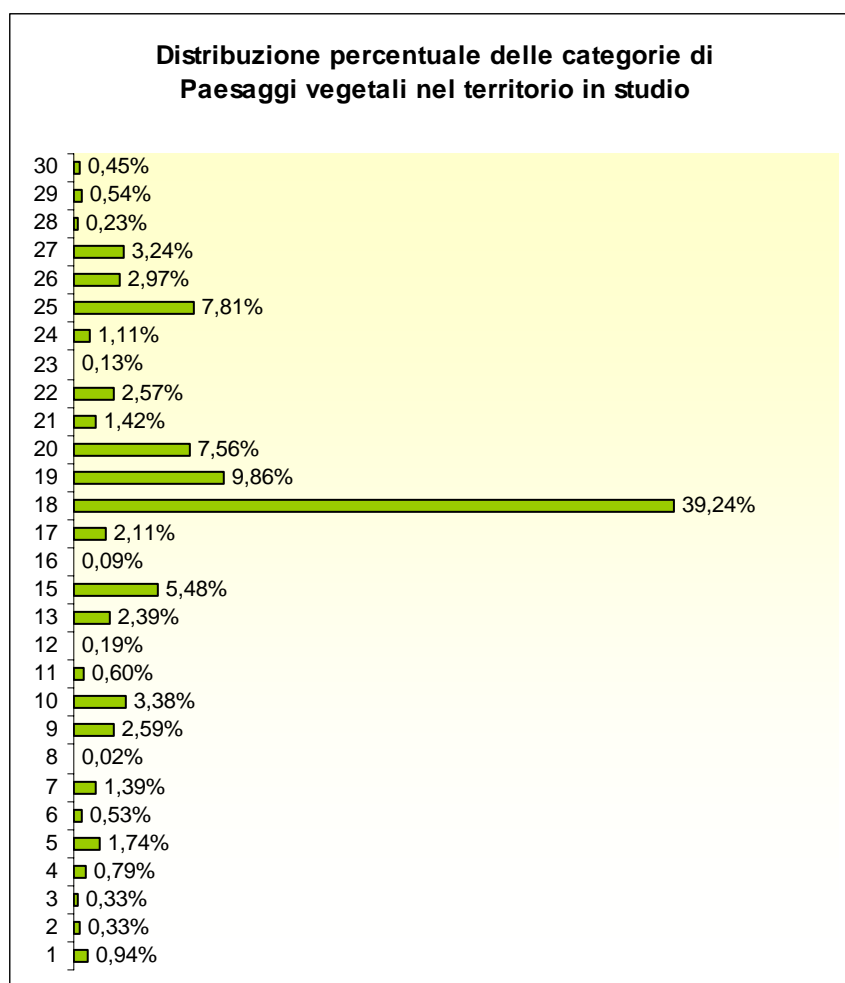


Figura 18. Diagramma della distribuzione delle categorie dei paesaggi vegetali nell'area di studio.

6.2 Habitat di rilevante interesse faunistico e floristico vegetazionale

L'analisi svolta nel paragrafo precedente può essere d'aiuto al fine di identificare le porzioni degli ambienti naturali, presenti nel territorio dell'area di studio, che possano rientrare nella definizione di habitat di rilevante interesse faunistico e floristico vegetazionale.

Per la definizione degli habitat si è fatto riferimento alla Direttiva 92/43/CEE (Direttiva Habitat), relativa alla "conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche", la quale all'Allegato 1 elenca gli habitat naturali di particolare interesse per la conservazione e salvaguardia della biodiversità.

In base alle indicazioni riportate nella carta dell'uso del suolo e nella carta dei paesaggi vegetali, si sono pertanto identificate le varie porzioni degli ambienti naturali e seminaturali ai sensi dell'Allegato 1 della Direttiva Habitat.

Di seguito viene riportata la tabella riepilogativa che mette in evidenza il criterio di derivazione degli Habitat.

Codice UDS	Paesaggi vegetali	Codice	Habitat (All. 1 Dir. 92/43/CEE)	Codice Habitat
3311, 3313	Spiagge con lembi di vegetazione psammofila caratterizzati da <i>Cakile maritima</i> , <i>Agropyrum junceum</i> e <i>Ammophila littoralis</i>	1	Dune mobili embrionali	2110
			Dune mobili del cordone litorale con presenza di <i>Ammophila littoralis</i> ("dune bianche")	2120
3322	Rupi costiere con presenza di <i>Crithmum maritimum</i> e <i>Limonium sp. pl.</i>	2	Scogliere con vegetazione delle coste mediterranee con <i>Limonium spp.</i> endemici	1240
333	Aree stagnali costiere caratterizzate da formazioni vegetali alofile a prevalenza di <i>Arthrocnemum fruticosum</i> , <i>Arthrocnemum glaucum</i> , <i>Halimione portulacoides</i>	3	Praterie e fruticeti alofili mediterranei e termo-atlantici (<i>Sarcocornetea fruticosi</i>)	1420
421	Aree palustri caratterizzate da <i>Phragmites australis</i> , <i>Typha sp.</i> , <i>Juncus sp. pl.</i>	4	Pascoli inondati mediterranei (<i>Juncetalia maritimi</i>)	1410
3222	Boscaglia ripariale che caratterizza i corsi d'acqua a flusso intermittente con prealenza di <i>Tamarix spp.</i> e <i>Nerium oleander</i>	5	Fiumi mediterranei a flusso intermittente con il <i>Paspalo - Agrostidion</i>	3290
3222	Boscaglia ripariale che caratterizza i corsi d'acqua a carattere permanente con presenza di <i>Salix spp.</i> , <i>Populus alba</i> , ecc.	6	Fiumi mediterranei a flusso permanente con il <i>Paspalo - Agrostidion</i> e conifilari ripari di <i>Salix</i> e <i>Populus alba</i>	3280
321	Aree degradate, spesso adibite a pascolo, caratterizzate da popolamenti terofitici, con presenza ricorrente di <i>Asphodelus sp.</i>	7		
3321	Aree rocciose interne colonizzate da specie riferibili alle formazioni vegetali circostanti	8	Arbusteti termo-mediterranei e pre-desertici	5330
3232	Gariga prevalentemente a <i>Lavandula stoechas</i> e <i>Cistus sp. pl.</i>	9		
32311	Macchia mediterranea bassa a prevalenza di <i>Cistus monspeliensis</i> e <i>Cistus salvifolius</i> , localmente ad <i>Artemisia arborescens</i>	10		
32312	Macchia mediterranea alta caratterizzata da <i>Arbutus unedo</i> , <i>Erica arborea</i> , <i>Phillyrea latifolia</i>	11		
31111, 32312	Macchia boscaglia (21-50%) o lembi di macchia boscaglia caratterizzati da <i>Olea europaea var. sylvestris</i> , <i>Juniperus phoenicea</i> , <i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Ceratonia siliqua</i> e <i>Phillyrea latifolia</i>	12	Matorral arborescenti di <i>Juniperus spp</i>	5210
31112, 32311	Macchia boscaglia (51-80%) o lembi di macchia boscaglia caratterizzati da <i>Olea europaea var. sylvestris</i> , <i>Juniperus phoenicea</i> , <i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Ceratonia siliqua</i> e <i>Phillyrea latifolia</i>	13		
1411, 14211,	Pinete litoranee di tipo artificiale con insediamenti	15		

Codice UDS	Paesaggi vegetali	Codice	Habitat (All. 1 Dir. 92/43/CEE)	Codice Habitat
1213, 11211				
31122	Lembi residui di formazioni boschive a prevalenza a <i>Quercus suber</i>	16	Dehesas con <i>Quercus spp.</i> sempreverde	6310
3241	Incolti, avanzata reinvasione di specie arbustive	17		
2111, 2112, 2124, 231	Seminativi	18		
221, 222, 223	Colture permanenti (frutteti, vigneti, oliveti)	19		
242, 2411, 2413	Zone agricole eterogenee con colture temporanee associate a colture permanenti	20		
31121	Parcelle rimboschite per arboricoltura ad <i>Eucalyptus sp. pl.</i>	21		
3242	Rimboschimenti a <i>Pinus pinea</i> , <i>Pinus halepensis</i> , <i>Eucalyptus sp. pl.</i> , localmente a <i>Pinus canariensis</i>	22		
1322, 1331	Zone estrattive, discariche e cantieri	23		
1211	Zone industriali e commerciali	24		
1112, 1122, 11211, 11212	Insedimenti residenziali	25		
1412, 14211, 14212	Zone verdi artificiali	26		
1221	Strade e spazi accessori	27		
5111, 5112	Corsi d'acqua e canali	28		
51222	Bacini artificiali	29		
5211	Lagune, laghi e stagni costieri	30	Lagune costiere *(habitat di interesse prioritario)	1150

Tabella 7. Tabella degli Habitat naturali di particolare interesse per la conservazione della biodiversità dell'area di studio.

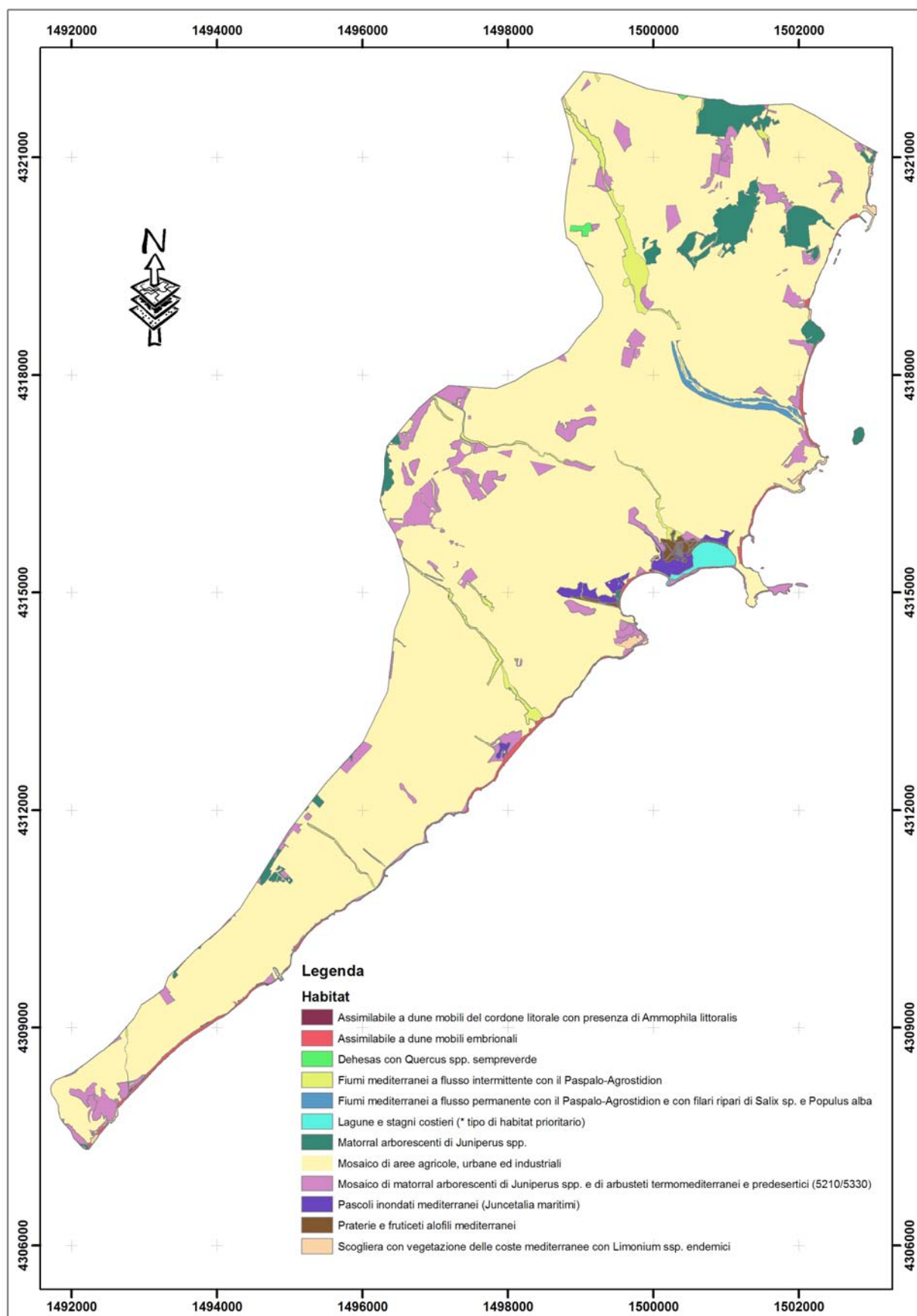


Figura 19. Carta degli Habitat di particolare interesse per la conservazione della biodiversità dell'area di studio.

7 Ambiente umano

7.1 I beni di interesse storico-architettonico

La storia antica del territorio in studio fa riferimento in primissimo luogo all'antica città di Nora, nel promontorio di Capo Pula.

Nel territorio di Nora sono stati rinvenuti resti appartenenti alla civiltà nuragica, infatti nell'area a sud-est delle terme a mare c'è un pozzo nuragico (che ancora non è stato scavato) con una serie di gradini che scendono verso l'acqua.

L'importanza storica di Nora si attribuisce tuttavia agli insediamenti dei fenici, i quali si stanziarono dapprima in insediamenti temporanei per poi creare il primo insediamento urbano, probabilmente nell'altura di Coltellazzo (750 a.C. circa). Con l'ampliarsi dei traffici, la città crebbe di dimensioni ed iniziò ad estendersi oltre la zona del promontorio sino ad occupare probabilmente la parte bassa della penisola.

Successivamente ai fenici succedettero i cartaginesi e ad essi i romani, per cui Nora rimase per secoli un importante scalo commerciale al centro delle rotte del Mediterraneo.

L'insediamento fenicio di Nora comprende oggi le aree archeologiche visitabili, le aree archeologiche riconosciute e non fruibili, considerate ad elevata valenza storico-culturale.

Oltre al sito archeologico di Nora, il litorale di Pula è arricchito dalla presenza delle numerose torri di avvistamento fatte costruire dagli spagnoli per prevenire le incursioni barbariche, come la torre del Coltellazzo, sul promontorio che chiude la baia di Nora, la torre di San Macario sull'omonima isoletta e la torre di Cala d'Ostia.

Il centro abitato di Pula conta, oltre a diversi esempi di "case a corte" tipicamente campidanesi, alcuni edifici di pregio: la chiesa di S. Giovanni Battista, di forme neoclassiceggianti (all'interno è conservato un sarcofago di età paleocristiana), la cappella settecentesca di S. Raimondo e la villa di S. Maria, una ricca dimora patrizia dell'800 disegnata dal Cima, oltre alla chiesetta di S. Efisio, dei menhirs di S'Abuleu.

7.2 Lo stato della tutela e indicazioni e prescrizioni del PPR

All'interno del territorio oggetto di studio ricadono delle aree soggette a tutela, tra cui:

- Siti di Interesse Comunitario (SIC). Sono presenti due SIC, uno in corrispondenza del tratto terminale del Rio Pula e uno tra Riva dei Pini e il Forte Village, per la cui descrizione si rimanda al paragrafo 7.3;
- vincolo faunistico. Nella fascia costiera in oggetto è presente una "Oasi permanente di protezione e cattura" denominata "Santa Margherita", istituita ai sensi della L.R. 23/98, di estensione pari a 1.360 ettari;

- vincolo idrogeologico (vedi paragrafo 7.4);

Inoltre, il Piano Paesaggistico della Regione Sardegna, approvato con Decreto del Presidente della Regione n. 82 del 7 settembre 2006, disciplina i processi di trasformazione fisica e l'uso del territorio con lo scopo di:

- preservare, tutelare, valorizzare e tramandare alle generazioni future l'identità ambientale, storica, culturale e insediativa del territorio sardo;
- proteggere e tutelare il paesaggio culturale e naturale e la relativa biodiversità;
- assicurare la salvaguardia del territorio e promuoverne forme di sviluppo sostenibile, al fine di conservarne e migliorarne le qualità.

Nel P.P.R. viene svolta un'analisi territoriale articolata secondo tre assetti: ambientale, storico-culturale e insediativo, per ciascuno dei quali sono stati individuati i beni paesaggistici, i beni identitari e le componenti di paesaggio e la relativa disciplina generale, costituita da indirizzi e prescrizioni.

Oltre all'analisi del territorio finalizzata all'individuazione delle specifiche categorie di beni da tutelare in ossequio alla legislazione nazionale di tutela, è stata condotta un'analisi finalizzata a riconoscere le specificità paesaggistiche dei singoli contesti, limitata in sede di prima applicazione del P.P.R. alla sola fascia costiera. Sono stati pertanto individuati 27 ambiti di paesaggio, per ciascuno dei quali il P.P.R. detta specifici indirizzi volti a orientare la pianificazione sott'ordinata, soprattutto comunale e intercomunale, al raggiungimento di determinati obiettivi e alla promozione di determinate azioni.

In particolare, il territorio in studio ricade nell'ambito di paesaggio costiero n. 2 – "Nora".

7.2.1 Ambito di paesaggio di Nora

Il progetto di riqualificazione del paesaggio dell'ambito di Nora previsto dal P.P.R. assume come guida per la riorganizzazione dei livelli di relazione paesaggistica, le relazioni tra le piane costiere e il sistema ambientale del massiccio del Sulcis, tra la direttrice storica della strada statale sulcitana e la trama agricola.

Tra gli indirizzi del PPR dell'ambito di Nora che interessano l'area di studio si citano:

- riqualificare la struttura insediativa dei centri urbani di Pula, Villa San Pietro, Sarroch, strutturati lungo la direttrice della strada statale sulcitana, in un'ottica di potenziamento dell'integrazione dei servizi intercomunali di valenza locale e sovralocale, anche attraverso interventi di progettazione integrata per la riqualificazione del corridoio viario di connessione tra le piane costiere di Capoterra e Pula, evitando la saldatura tra i centri abitati comunali e riqualificando come aree a verde gli spazi interstiziali;
- riqualificare il sistema infrastrutturale viario della attuale strada statale sulcitana (SS 195), anche in vista di un prossimo declassamento, attraverso la reinterpretazione funzionale del

tracciato che preveda l'integrazione della direttrice viaria con le valenze paesaggistiche del sistema marino - litorale e la dimensione insediativa e urbana dell'infrastruttura, attraverso la riorganizzazione di servizi urbani per la fruizione del territorio;

- riqualificazione urbana e ambientale della struttura insediativa dei nuclei costieri in riferimento alla reinterpretazione funzionale della strada statale sulcitana (SS 195) alla quale conferire una connotazione sempre più urbana, coerentemente con la dimensione paesaggistica e insediativa del contesto;
- recuperare l'accessibilità e riqualificare la fruizione della risorsa paesaggistica ambientale costiera, attraverso la riorganizzazione della rete dei percorsi e dei servizi a livello intercomunale, attraverso il riequilibrio tra aree pubbliche e private sia per contrastare la tendenza alla chiusura degli spazi e degli accessi, sia per favorire la fruizione collettiva del territorio;
- riqualificare l'insediamento turistico attraverso il progressivo adeguamento delle strutture esistenti favorendo il cambio di destinazione d'uso in strutture ricettive alberghiere di alto livello, mediante trasformazione dell'edificato, anche attraverso incrementi volumetrici;
- riqualificare lo spazio storico di connessione tra il centro urbano di Pula, l'area archeologica della città di fondazione fenicia di Nora e il sistema umido della peschiera, attraverso la predisposizione di una progettazione quadro unitaria e integrata che abbia la capacità di risolvere la complessità delle tematiche coinvolte;
- qualificare il sistema degli approdi turistici costieri di Porto Columbu, Cala Verde e Porto d'Agumu, attraverso il rafforzamento dei servizi portuali e di mobilità con il territorio;
- integrare e valorizzare i servizi e le attività, compatibili con la funzione agricola, utili allo sviluppo delle attività turistico-ricreative e della fruizione naturalistica del paesaggio, anche in relazione alla presenza del "Parco naturale regionale delle foreste Gutturu Mannu";
- diversificare l'organizzazione della rete, attraverso l'individuazione e agevolazione delle varie forme di percorrenza (veicolare, pedonale, e ciclopedonale, equestre, ecc.), per la fruizione dei beni paesaggistici storici, culturali e ambientali presenti sul territorio e connettere i luoghi significativi del territorio, quali ambiti costieri, zone umide, corridoi vallivi, nuclei turistico residenziali;
- riqualificare la fascia costiera mediante una gestione unitaria e integrata tra esigenze della fruizione e problemi di erosione dei litorali, dei processi di dissesto idrogeologico dei sistemi fluviali, degrado della biodiversità, attraverso interventi rivolti a riequilibrare le dinamiche di relazione ecosistemica a scala di rete, attraverso l'eliminazione delle cause di criticità e l'organizzazione di interventi volti alla risoluzione dei problemi in un quadro di organicità sistemica a scala territoriale;

- conservare i sistemi ecologici delle spiagge, delle dune e delle zone umide litoranee, attraverso interventi integrati intercomunali, finalizzati a organizzare e regolamentare la viabilità, la sosta e l'accesso per la fruizione turistico-ricreativa, l'organizzazione dei servizi di supporto alla balneazione, in relazione alla vulnerabilità e sensibilità del complesso ambientale, integrando azioni di recupero della naturalità delle aree degradate;
- riqualificare i corridoi vallivi del Rio San Gerolamo, del Riu di Monte Nieddu, Rio Mannu-Rio Pula, del Rio Palaceris-Rio Santa Margherita riconoscendone il ruolo di porta ambientale di accesso al sistema montano del massiccio del Sulcis, attraverso la ricostruzione delle connessioni ecologico-ambientali e paesaggistiche tra sistemi costieri e sistema orodrografico del massiccio interno;
- individuare le aree di connettività ecologica attraverso la costruzione di una rete ambientale a scala d'Ambito tra parchi, siti di interesse comunitario ed altre aree tutelate, al fine di superare l'isolamento dei frammenti di naturalità residuale;
- integrare le attività agricole con servizi compatibili e funzioni agrituristiche, utili allo sviluppo delle attività turistico-ricreative e della fruizione naturalistica del paesaggio, anche in relazione alla presenza del "Parco naturale regionale delle foreste Gutturu Mannu";
- equilibrare il rapporto tra superficie coperta dagli impianti serricoli e la superficie scoperta da destinare ad altri fini agricoli, in modo da mantenere un ordinamento colturale diversificato;
- attivare, da parte delle aziende agricole, programmi di miglioramento agricolo finalizzato all'applicazione delle direttive comunitarie, di una agricoltura ecocompatibile che ricorra a tecniche biologiche, anche in vista della conservazione del suolo ed al mantenimento degli habitat faunistici;
- riqualificare e migliorare gli habitat vegetazionali costruendo un sistema interconnesso e collegato sia con le formazioni boschive contigue, sia con le aree riparie dei corsi d'acqua.

Il PPR demanda ai Piani Urbanistici Comunali il recepimento delle linee guida sopra indicate e l'attuazione degli interventi successivi per il conseguimento degli obiettivi di riqualificazione paesaggistica e di sviluppo sostenibile.

7.3 Siti di Interesse Comunitario

Al fine di perseguire le finalità previste dalla Direttiva Habitat, è stata costituita a livello europeo una rete ecologica denominata Rete Natura 2000. La Rete Natura 2000 è un sistema coordinato e coerente di aree destinate alla conservazione della diversità biologica ed, in particolare, alla tutela di una serie di habitat e specie animali e vegetali (elencati negli allegati della Direttiva stessa) così come delle specie elencate nella Direttiva "Uccelli".

Le aree della Rete Natura sono pertanto costituite da:

- le Zone di Conservazione Speciale (ZCS) ai sensi della Direttiva Habitat;
- Zone di Protezione Speciale così come definite dalla Direttiva Uccelli.

Ciascuno Stato membro identifica quali siti presenti sul proprio territorio siano fondamentali per la conservazione degli habitat e delle specie di interesse comunitario e propone dunque una propria lista alla Commissione Europea di Siti di Importanza Comunitaria (pSIC). Un SIC viene definito come un sito che contribuisce in modo significativo a mantenere o a ripristinare un tipo di habitat naturale o una specie, elencati nell'Allegato 1 e 2 della Direttiva Habitat, in uno stato di conservazione soddisfacente. In Italia, l'individuazione dei pSIC è stata fatta dalle singole Regioni in collaborazione con il Ministero Ambiente nell'ambito del progetto denominato Bioitaly. Queste liste sono dunque soggette al vaglio della Commissione Europea al fine di definire l'elenco dei SIC e successivamente ogni Stato membro designa ognuno dei SIC come Zone Speciali di Conservazione (ZSC).

A seguito della Decisione della Commissione Europea del 19 luglio 2006 viene adottato l'elenco dei SIC per la regione biogeografica del Mediterraneo.

Si riporta di seguito una breve descrizione dei SIC presenti all'interno dell'area studio.

“Tra Forte Village e Perla Marina” (codice SIC: ITB 042231)

Il SIC è identificato da un'area costiera pianeggiante (superficie di 0,32 ettari) con una spiaggia di larghezza limitata circoscritta da una ripa di erosione di 10-15 m incisa dalle acque meteoriche. La piana è interessata da un rimboschimento a *Pinus sp.pl.* (eucalipto negli impluvi).

La sua qualità e importanza è data dalla presenza dell'habitat prioritario cespuglieti costieri, che rappresenta la prima forma di vegetazione arbustiva relativa ai processi di colonizzazione delle spiagge sabbiose.

La vulnerabilità dell'habitat è invece data dall'influenza antropica che, in seguito al calpestio eccessivo ne pregiudica la conservazione.

Si riporta di seguito l'elenco degli habitat naturali presenti nell'area SIC con i relativi codici così come assegnati dalla Direttiva e la valutazione globale del valore del sito per la conservazione del tipo di habitat naturale in questione, così come riportato dalla scheda della Rete Natura:

- 1120 praterie di posidonie (*Posidonion oceanicae*) – prioritario. Valutazione: eccellente;
- 1210 Vegetazione annua delle linee di deposito marine. Valutazione: significativo;
- 2110 Dune mobili embrionali. Valutazione: significativo;
- 2210 Dune fisse del litorale del *Crucianellion maritimae*. Valutazione: significativo;
- 2230 Dune con prati dei *Malcolmietalia*. Valutazione: buono;
- 2240 Dune con prati dei *Brachypodietalia* e vegetazione annua. Valutazione: significativo;
- 2250 Dune costiere con *Juniperus spp.* – prioritario. Valutazione: significativo;
- 2270 Dune con foreste di *Pinus pinea* e/o *Pinus pinaster*. Valutazione: significativo;

- 5330 Arbusteti termo-mediterranei e pre-desertici. Valutazione: significativo.

“Sa Tanca e Sa Mura – Foxi Durci”

Il SIC si estende per un'area di 16 ettari nell'ultimo tratto del Rio Pula. La qualità e l'importanza del sito SIC è dovuta alle formazioni vegetali presenti, rare per l'Italia e talvolta uniche per struttura che, seppure a copertura media del 50%, raggiungono in alcuni tratti copertura assai più elevata, con formazione di vere e proprie foreste-galleria.

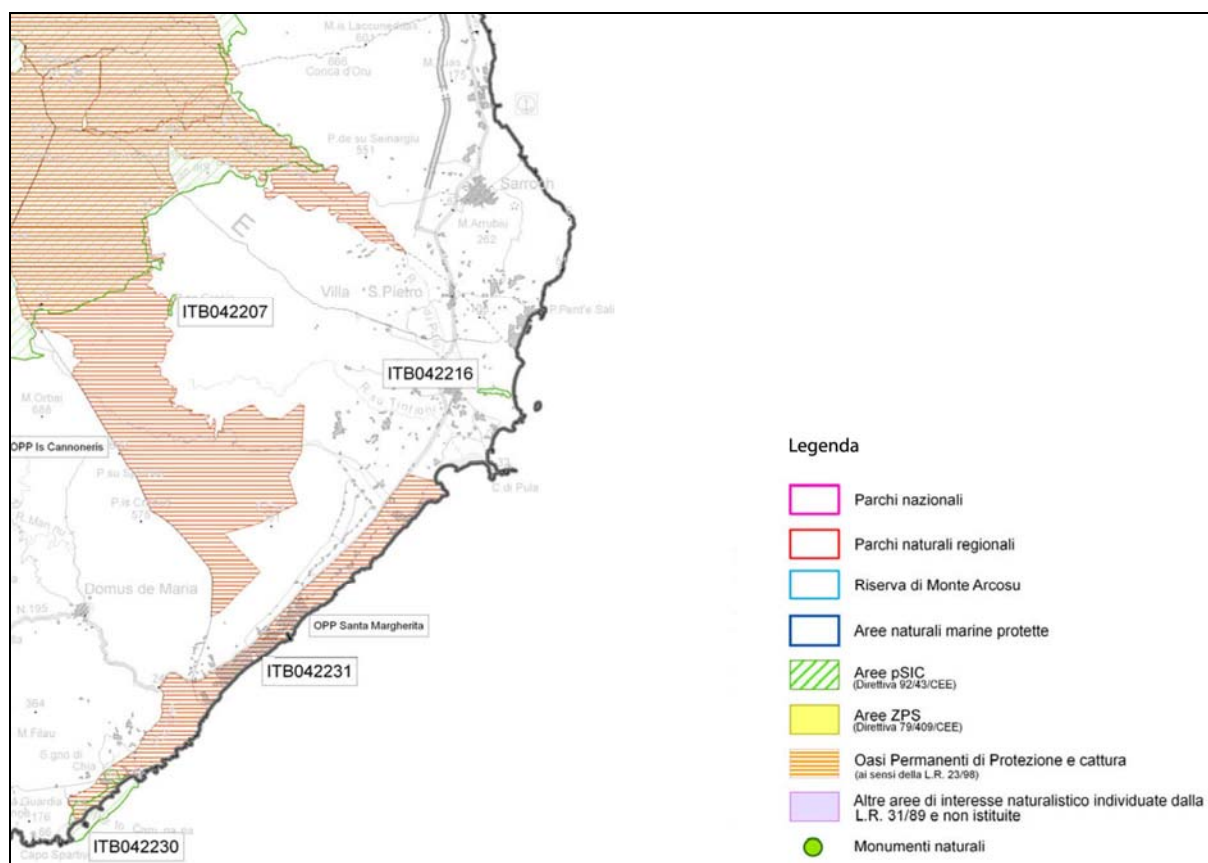


Figura 20. Carta dei SIC dell'area di studio.

La rarità è data dal fatto che tale formazione è distribuita e si sviluppa sino alla foce fluviale, unico esempio in tutta la provincia di Cagliari.

La vulnerabilità del sito è data dal fatto che le formazioni sono a rischio di estinzione per interventi sui corsi d'acqua e per diminuiti apporti idrici.

Si riporta di seguito l'elenco degli habitat naturali presenti nell'area SIC con i relativi codici così come assegnati dalla Direttiva e la valutazione globale del valore del sito per la conservazione del tipo di habitat naturale in questione, così come riportato dalla scheda della Rete Natura:

- 3250 Fiumi mediterranei a flusso permanente con *Glaucium flavum*. Valutazione: significativo;

- 91E0 * Foreste alluvionali di *Alnus glutinosa* e *Fraxinus excelsior* (*Alno-Padion*, *Alnion incanae*, *Salicion albae*). Valutazione: buono;
- 92D0 Gallerie e forteti ripari meridionali (*Nerio-Tamaricetae* e *Securinegion tinctoriae*). Valutazione: buono.

7.4 Le aree a rischio ambientale definite dal PAI

Il Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico regionale (PAI), adottato dalla Regione Sardegna con delibera della Giunta Regionale 30 dicembre 2004, n. 54/33 unitamente alle norme di attuazione e reso esecutivo con decreto dell'Assessorato Lavori Pubblici 21 febbraio 2005, n. 3, ha lo scopo di individuare e perimetrare le aree a rischio idraulico e geomorfologico, definire le relative misure di salvaguardia e programmare le misure di mitigazione del rischio.

Gli ambiti di riferimento del Piano sono i sette Sub-Bacini, individuati all'interno del Bacino Unico Regionale, ognuno dei quali è caratterizzato da un'omogeneità geomorfologica, geografica e idrologica. L'area in oggetto ricade nel Sub-Bacino n.7. Flumendosa-Campidano-Cixerri.

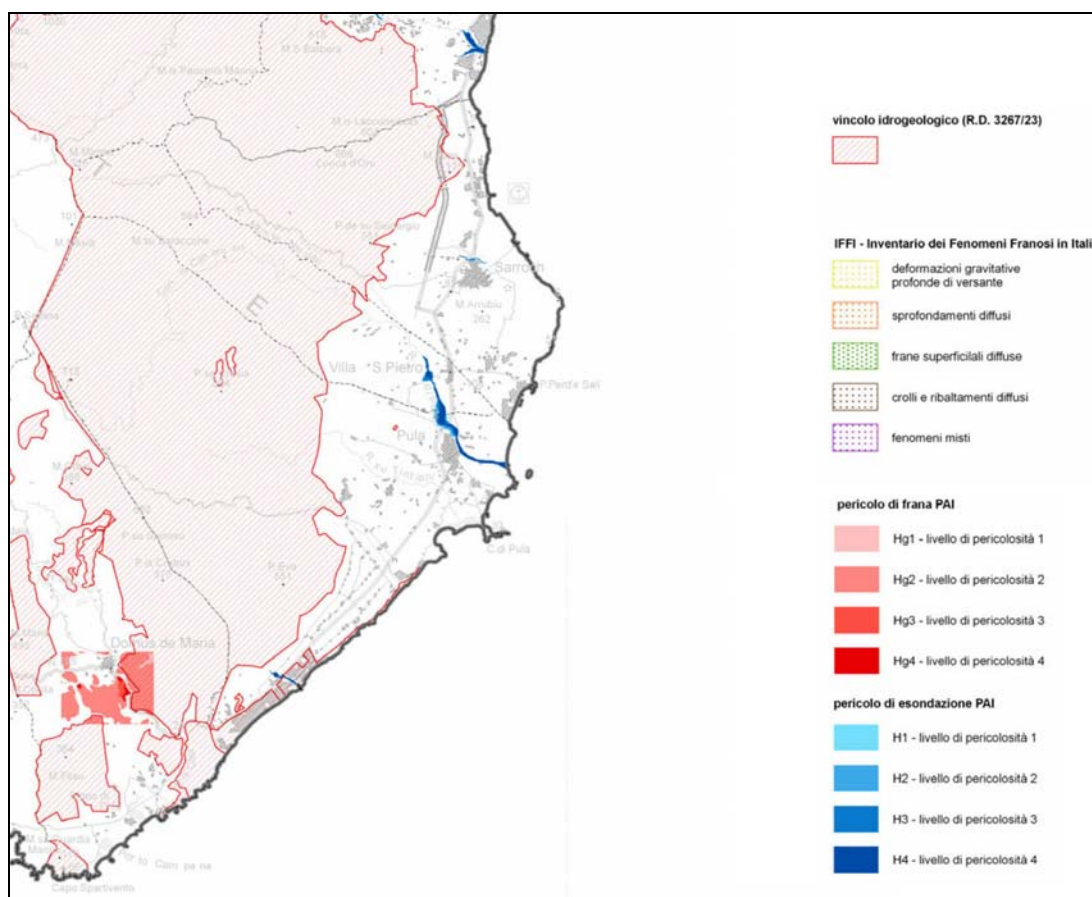


Figura 21. Aree a rischio idraulico e idrogeologico così come definito dal PAI (stralcio di carta del Piano forestale).

Dall'esame delle schede e della cartografia del Piano di Assetto Idrogeologico regionale relativa al Sub-Bacino n. 7, risulta che nell'area di intervento ricadono alcune porzioni soggette a vincolo idrogeologico e forestale ai sensi del R.D. 3267/1923. Si osserva che tale vincolo si estende principalmente nel complesso montuoso del Sulcis e solo parzialmente nella fascia costiera (Figura 21).

Inoltre risultano mappati come aree a rischio idraulico i tratti corrispondenti al corso del Rio Pula e Rio Santa Margherita, mentre non risultano aree soggette a rischio frana.



Figura 22. Risistemazione fluviale a seguito di un evento di piena del Rio Santa Margherita verificatosi nell'anno 2005 presso l'Hotel Flamingo (Spiaggia di Foxi 'e Sali).

8 Ambiente costiero

Per lo studio del litorale in esame sono stati realizzati diversi *dataset* che hanno implementato il sistema informatico geografico di base.

I sistemi informativi geografici forniscono un ausilio prezioso nel settore della gestione integrata delle zone costiere, supportando una metodologia scientifica fortemente suggerita dall'Unione Europea agli stati membri per affrontare in tempo utile le problematiche dei litorali in una logica sinergica di lungo periodo, non riducendo ad un semplice approccio empirico lo studio dei principali temi del territorio costiero.

Nell'ambito costiero, ambiente in continua e rapida trasformazione per effetto dei processi naturali e della fruizione antropica, l'approccio con la realizzazione di una banca dati geografica orientata prevede l'acquisizione di una molteplicità di informazioni, pertanto la necessità di possedere dati territoriali da elaborare ed implementare diventa l'obiettivo primario da perseguire.

La modellizzazione concettuale della banca dati geografica deve basarsi in primo luogo sulla scelta del sistema di coordinate di riferimento su cui georeferenziare i dati in acquisizione e sulle modalità con cui questa andrà portata a compimento.

Sono state raccolte un insieme di informazioni geografiche opportunamente georeferenziate con l'obiettivo di mantenere elevati standard di qualità paesaggistica e di gestione integrata e sostenibile della fascia costiera, quale fondamentale obiettivo per una regione che ripone nel turismo molte delle proprie attese di sviluppo economico e sociale. In tal senso, la potenzialità di questa banca dati per l'analisi e la rappresentazione di entità spaziali ne fa un rapido e flessibile strumento per la raccolta, l'analisi e la correlazione di un considerevole numero di informazioni che possono essere restituite attraverso mappe tematiche e attributi visualizzabili, agevolmente e in modo estremamente efficace in tabelle e grafici.

Nel caso particolare della banca dati geografica oggetto del presente lavoro, si sono riunite diverse tipologie di informazioni che appartengono a momenti del passato e a contesti territoriali attuali, sia per poter individuare le linee dei trend evolutivi e sia per poter usufruire di una conoscenza indispensabile per la gestione dell'ambiente costiero, consapevoli delle scelte da operare in fase gestionale.

8.1 Inquadramento generale del litorale

Il litorale esaminato si estende per una lunghezza di circa 27 Km e comprende lo specchio di mare e le spiagge che si estendono da Pinus Village a Porto Columbu, al ridosso del quale si sviluppa una superficie nella quale si alternano, come si può evincere dall'osservazione della carta dell'uso del suolo (Figura 4), aree con vegetazione costiera naturale, di ambiente emerso o palustre e stagnale, ed aree antropizzate.

Questo tratto di litorale è caratterizzato, dal punto di vista geologico - sedimentologico, da un insieme di sottoambienti adiacenti, dinamicamente e strettamente collegati tra loro, che vanno dalla spiaggia sottomarina (zona più dinamica della spiaggia) alla retrospiaggia vera e propria, passando attraverso la spiaggia emersa, il cordone litorale e le piccole zone umide retrostanti.

Questi sottoambienti, estremamente complessi sotto il profilo sedimentologico e geomorfologico, sono attivi e raccordano di fatto le aree marine con quelle continentali attraverso continui scambi sedimentari e processi dinamici che variano nello spazio e nel tempo. Sono dunque "instabili" ed in continua e rapida evoluzione per loro stessa natura, sia longitudinalmente che trasversalmente alla linea di battigia, per effetto dei fattori naturali e degli interventi umani.

Su tutta la fascia costiera (ambienti fluviali, ambienti dunali-spiaggia e sottomarini) si assiste a situazioni di degrado derivate anche dall'accumulo di inerti, spesso anche solo puntiformi (in prossimità di Is Morus), che non permettono lo sviluppo ottimale della vegetazione (continentale e marina), determinando perdita di elementi importanti della diversità biotica dell'area e la conseguente mancanza di protezione delle sabbie dunali, di spiaggia e di piattaforma.

Lo scenario che ne consegue evidenzia una generale situazione di indebolimento dell'intero sistema spiaggia, inteso come unico ambiente transizionale tra la terra ed il mare che comprende duna, stagno, spiaggia emersa e sommersa.

L'analisi dello stato di fatto del litorale esaminato è stata realizzata attraverso l'integrazione dei dati a disposizione e su metodi d'indagine che hanno previsto una preventiva ricerca bibliografica, la fotointerpretazione di ortofoto a colori e riprese aeree multitemporali, la ricerca e interpretazione di carte storiche e recenti, il rilevamento di campagna supportato dalla cartografia ufficiale 1:10.000, misure in situ su capisaldi appositamente predisposti della linea di costa tramite strumenti topografici ed analisi tessiturali dei sedimenti litoranei. L'intento è stato quello di ottenere un quadro conoscitivo completo del litorale. Successivamente le informazioni sono state rappresentate con *datasets* tematici in forma di dati vettoriali alfanumerici, *raster*, archivi fotografici o archivi documentaristici collegabili alle entità.

8.1.1 Il dataset spiagge

Il tratto di Costa studiato risulta essere costituito sia da spiagge che da tratti rocciosi oltre ad essere interessato da opere ingegneristiche. L'intero litorale è stato suddiviso in segmenti omogenei corrispondenti a tipi fisiografici ad ognuno dei quali è associata una tabella di attributi comprendenti diverse informazioni.

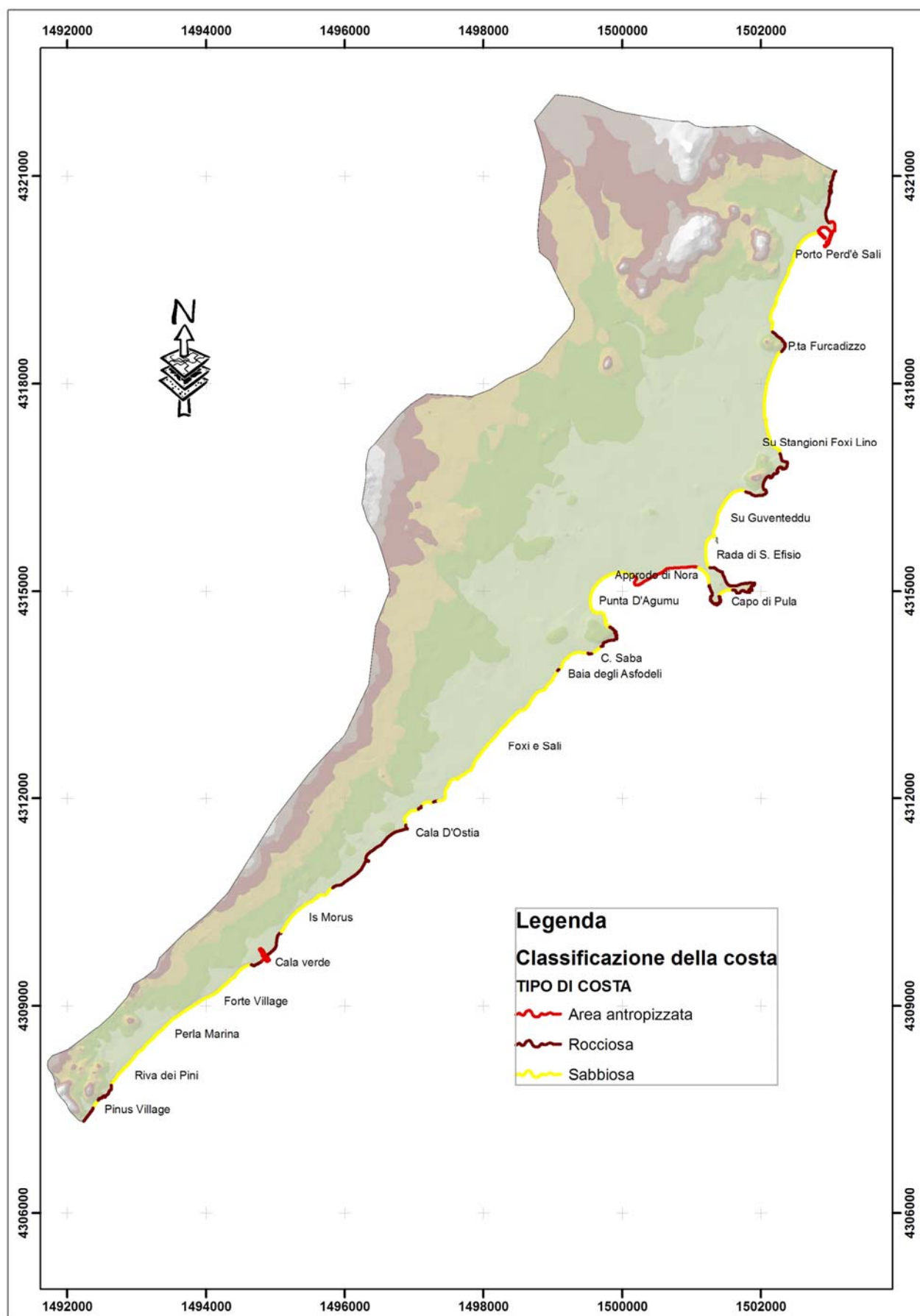


Figura 23. Carta sulla classificazione della tipologia costiera.

Tipo di costa	Lunghezza (metri)	Distribuzione%
Spiagge	16943,56	61,27%
Costa Rocciosa	7826,67	28,30%
Area antropizzata	2884,26	10,43%
Totale	27654,49	100,00%

Tabella 8. Tabella riassuntiva delle lunghezze dei tratti costieri espresse in m caratterizzate da ogni singola tipologia e della loro distribuzione percentuale sul totale dell litorale in studio.

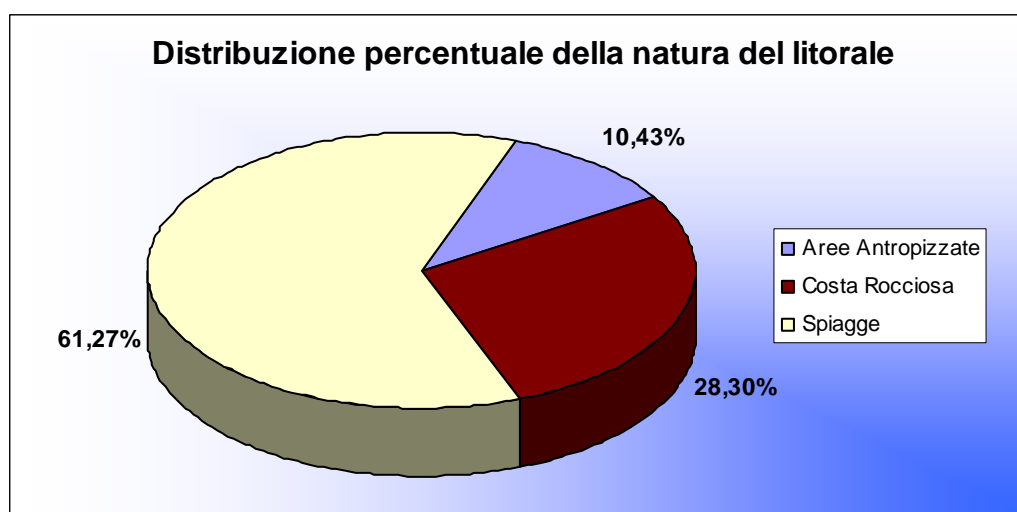


Figura 24. Grafico della distribuzione percentuale della tipologia di costa espressa in percentuale.

Dalla tabella e dal grafico si evince che oltre la metà del litorale studiato è costituito da spiagge di diversa tessiture fruibili dai bagnanti, il 30% da costa rocciosa e il 11% da aree antropizzate identificabili con il porticciolo di Cala Verde e quello di Perd'è Sali e dall'area in linea con il tombolo che costituisce il limite a mare della Peschiera di Nora.

Le coste rocciose sono state suddivise in due categorie a seconda che la ripa presenti un'altezza maggiore o inferiore ai tre metri. Attraverso i rilevamenti sul campo e successivamente attraverso le analisi spaziali effettuate in ambiente GIS, è emerso che le coste rocciose con scarpate di altezza minore ai 3 metri ricoprono una superficie maggiore rispetto a quelle di altezza maggiore di 3 metri (Tabella 9).

Altezza Scarpata (Metri)	Lunghezza (Metri)	Distribuzione (%)
< 3	4546,01	58,08%
> 3	3280,66	41,92%
TOTALE	7826,67	100%

Tabella 9. Tabella riassuntiva delle lunghezze dei tratti costieri rocciosi e altezza delle relative scarpate.

Le spiagge sono state cartografate attraverso l'integrazione dei dati a disposizione reperiti sia direttamente con sopralluoghi, che indirettamente attraverso l'interpretazione delle informazioni derivate dall'osservazione delle foto aeree e della cartografia esistente che hanno reso possibile la caratterizzazione della fascia costiera.

I risultati sono poi stati rappresentati in formato GIS, producendo una serie di tematismi in formato digitale sui quali è stato possibile eseguire delle analisi spaziali.

Per i rilievi in campo e per l'interpretazione delle foto aeree è stata utilizzata come base il dato digitale vettoriale della CTR numerica.

Nel complesso sono stati individuati 19 tratti costieri (Tabella 10), alcuni dei quali sono costituiti da più spiagge, rappresentate attraverso un *dataset* poligonale. La nomenclatura è stata ottenuta sovrapponendo la CTR al litorale in modo tale che il segmento costiero sia individuato da due toponimi che ne identifichino le estremità.

Tratto di costa	Superficie (mq)	Lunghezza (metri)	Larghezza massima (metri)
Approdo di Nora	3144,67	257,00	15
Baia degli Asfodeli - C. Saba	5082,58	482,00	15
C. Saba - P.ta D'Agumu	1702,47	170,00	7
Cala D'Ostia	3134,81	366,00	18
Cala D'Ostia - Foxi e Sali	9873,80	937,00	16
Capo di Pula	2239,53	254,00	12
Forte Village	35170,21	1568,43	25
Foxi e Sali	42974,27	1377,00	55
Foxi e Sali - Baia degli Asfodeli	5552,08	618,00	6
Is Morus	12435,29	1053,00	25
Is Morus - Cala d'Ostia	13822,90	2225,00	13
P.ta Furcadizzo - Porto Perd' è Sali	30408,74	1734,00	42
Perla Marina	14974,21	632,11	35
Pinus Village	3716,25	133,28	32
Punta D'Agumu	29583,51	1497,00	35
Rada di S. Efisio	13622,61	406,00	52
Riva dei Pini	21959,34	549,74	51
Su Guventeddu	21693,79	1052,00	25
Su Stangioni Foxi Lino - P.ta Furcadizzo	41217,16	1632,00	47
<i>Totale</i>	312308,23	16943,56	

Tabella 10. Tratti costieri (n° 19) identificati da aerofotointerpretazione e da verifiche sistematiche di campo per l'area in studio, con indicazione delle superfici occupate in mq ed in lunghezza, e la larghezza massima.

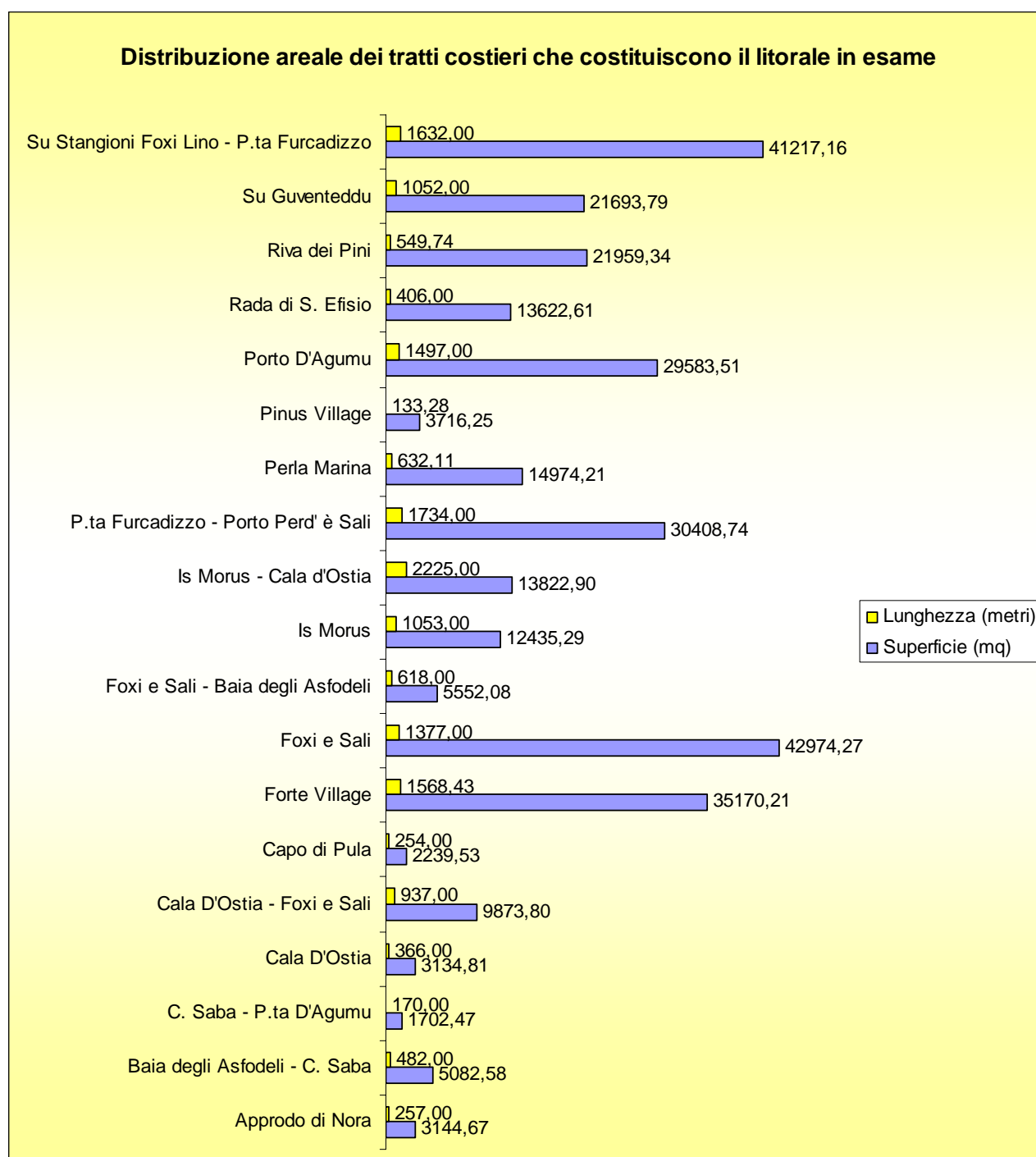


Figura 25. Grafico a barre della distribuzione areale dei tratti costieri che costituiscono il litorale in esame.

Attraverso l'osservazione della tabella e del grafico risulta che il tratto costiero più lungo è quello di Is Morus - Cala d'Ostia con 2225 metri, mentre il tratto costiero che presenta una superficie più ampia è rappresentato da Foxi e Sali pari a 42974,27 mq.

Ciascun tratto costiero è stato successivamente suddiviso ulteriormente, a seconda che fosse costituito da più spiagge, le quali a loro volta sono state suddivise nuovamente in base alle diverse informazioni associate a ciascuna di esse, di seguito elencate, nel complesso; si sono raggiunte 40 regioni.

8.1.1.1 Litologia

A ciascuna spiaggia è stata associata la litologia che caratterizza l'ambiente immediatamente retrostante l'arenile, o le scarapate presenti sulla spiaggia, derivante dal rilevamento geologico effettuato sul campo. Così facendo in un' apposita Carta sono descritte tutte le formazioni geologiche e i litotipi presenti nell'area.

Dalle analisi effettuate (Tabella 11 e Figura 22) emerge che la litologia predominante nel litorale considerato è costituita da depositi alluvionali che occupano il 53% dell'area esaminata.

I graniti con 1,92% rappresentano la percentuale minore e affiorano esclusivamente a sud dell'area indagata, nella spiaggia di Pinus Village. Le arenarie della formazione del Cixerri affiorano sporadicamente, nella spiaggia di Is Morus e in quella di Santa Margherita (Forte Village), mentre le lave e brecce andesitiche si rinvencono principalmente sottoforma di grossi blocchi come ad esempio nella zona di Cala d' Ostia e di Nora.

Litologia	Distribuzione (%)
Depositi alluvionali	53,10%
Formazione del Cixerri	9,55%
Graniti	1,92%
Lave e brecce andesitiche	30,63%
Tirreniano	4,80%

Tabella 11. Tabella riassuntiva della distribuzione percentuale delle litologia presenti sul totale dell litorale in studio.

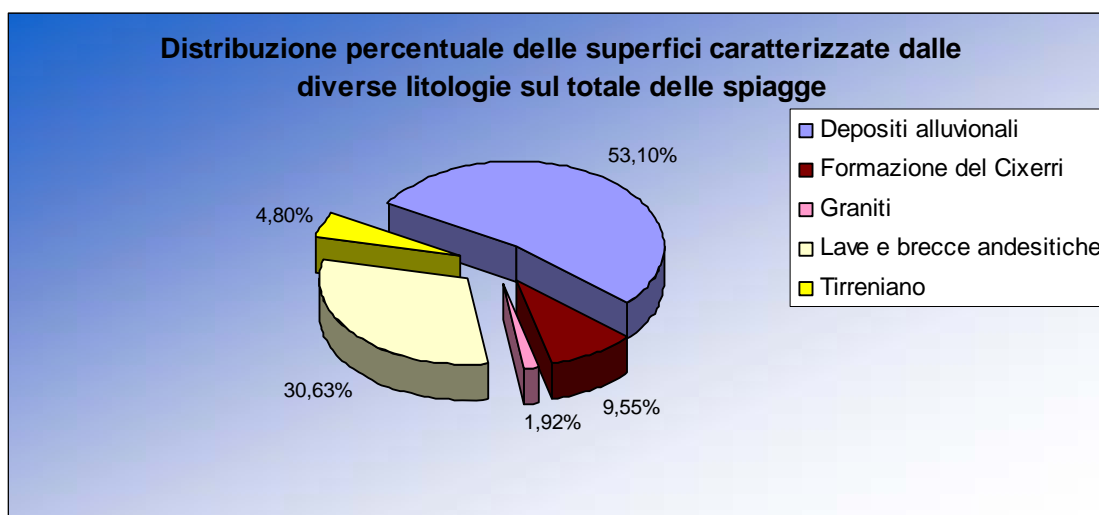


Figura 26. Grafico a torta della distribuzione percentuale delle spiagge caratterizzate da ogni singola litologia, sul totale del litorale studiato.

Il *dataset* della litologia risulta di primaria importanza per quanto riguarda la derivazione di informazioni relative alle caratteristiche di erodibilità delle singole spiagge, al fine di proporre una suddivisione del territorio in termini di gradi qualitativi di erodibilità, attraverso i quali descrivere il comportamento nei confronti dell'erosione dei settori di spiaggia caratterizzati da diverse litologie con diversa resistenza all'erodibilità.

Vengono distinte tre classi di erodibilità basando la suddivisione sulle caratteristiche fisiche e di alterazione dei diversi litotipi rilevati.

Alle coperture quaternarie oloceniche costituite da depositi alluvionali ciottolosi e sabbiosi viene assegnata la classe più alta per erodibilità, così come alle coperture colluviali pedogenizzate ed anche ai depositi alluvionali più antichi, addensati e talvolta cementati. Alle formazioni andesitiche, poco alterate e fratturate, ed ai graniti, viene assegnata la classe di non erodibilità. Alla formazione del Cixerri costituita da depositi clastici di arenarie quarzoso-feldspatiche, argille e limi viene assegnata la classe di erodibilità media così come ai depositi tirreniani.

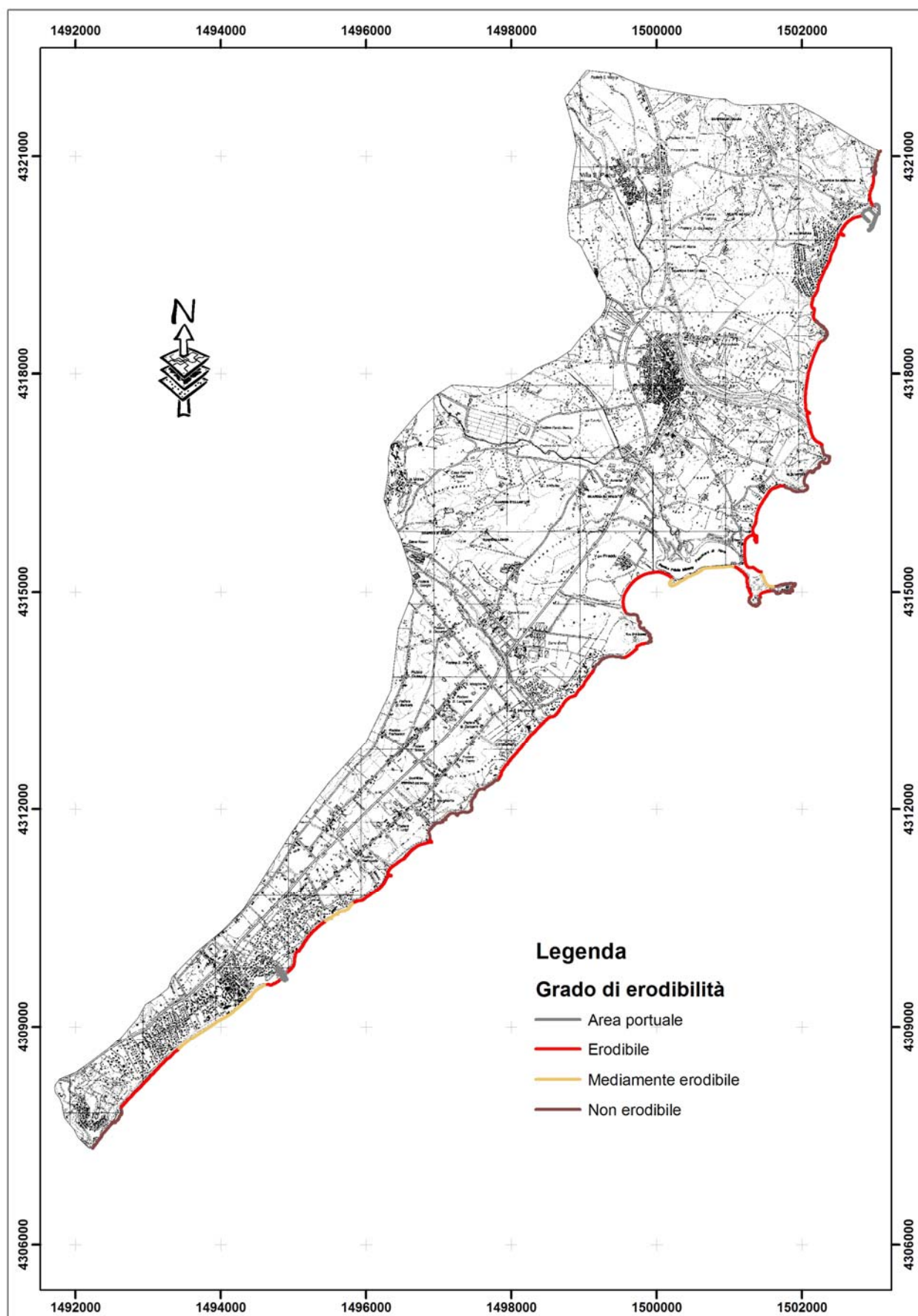


Figura 27. Carta del grado di erodibilità del litorale esaminato.

Litologia	Erodibilità	Distribuzione (%)
Depositi alluvionali	Erodibile	56,95%
Formazione del Cixerri	Mediamente erodibile	10,81%
Tirreniano		
Lave e brecce andesitiche	Non erodibile	32,23%
Graniti		

Tabella 12. Distribuzione percentuale del grado di erodibilità di ogni tratto costiero, sul totale del litorale studiato.

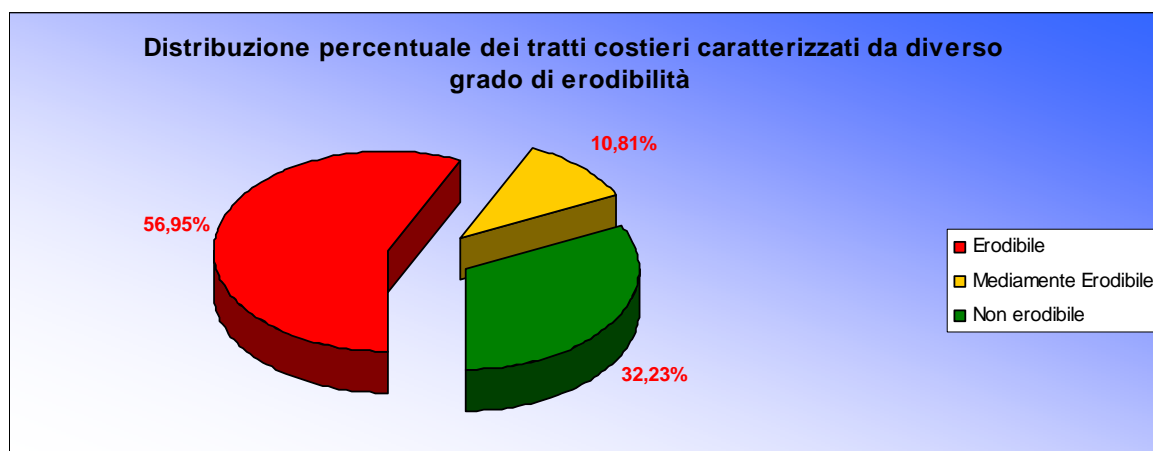


Figura 28. Grafico a torta della distribuzione percentuale del grado di erodibilità di ogni tratto costiero, sul totale del litorale studiato.

8.1.1.2 Morfologia della costa

Attraverso la consultazione della cartografia tecnica e tematica a disposizione e tramite il rilevamento in situ, sono stati definiti i lineamenti morfologici principali della costa che ne caratterizzano la fisionomia con una suddivisione in tre tipologie: arcuata, frastagliata e lineare.

Come si può osservare dal grafico di Figura 30 e dalla Tabella 13 sotto riportati emerge che il litorale esaminato presenta una distribuzione della morfologia costiera abbastanza uniforme.

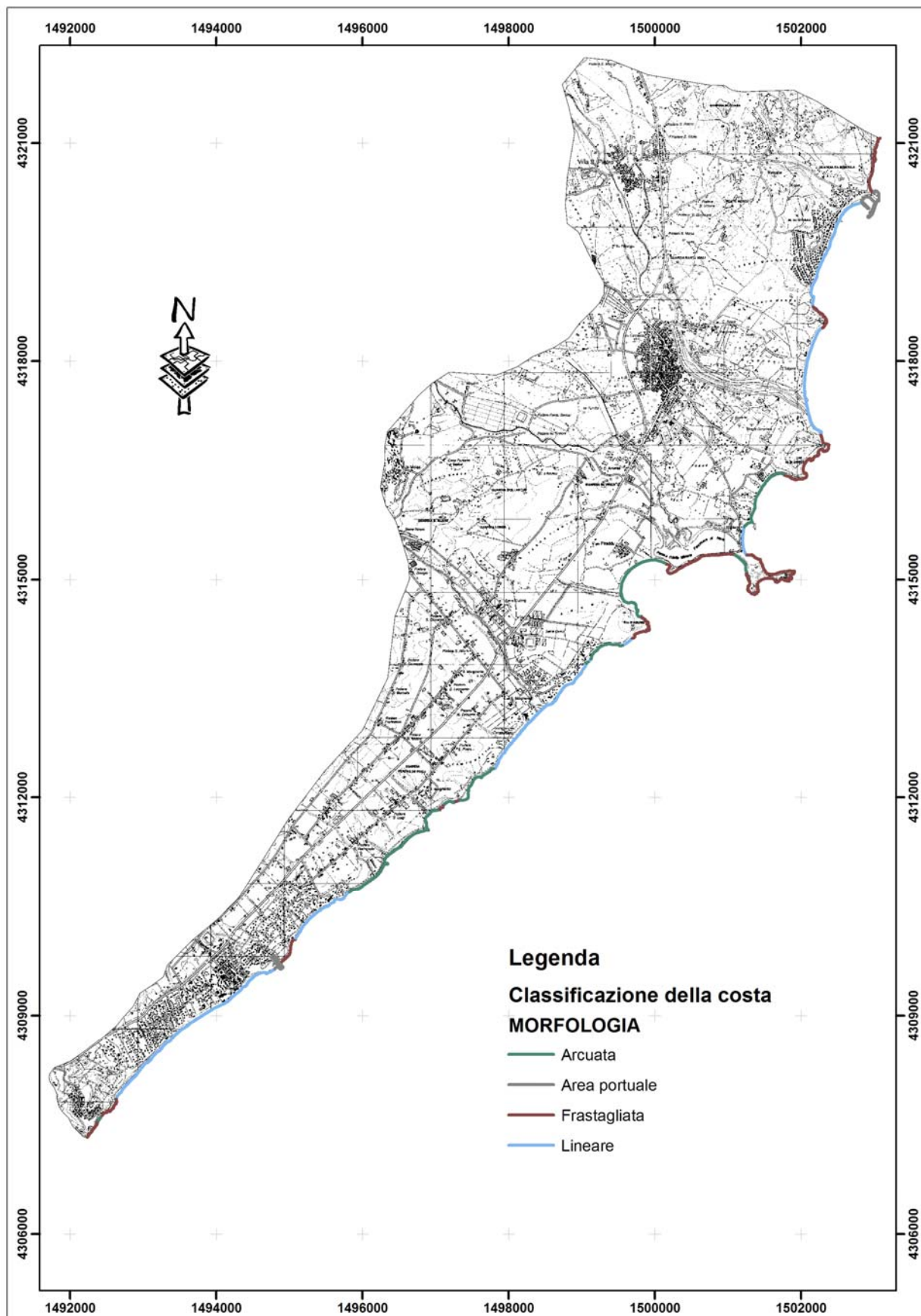


Figura 29. Classificazione della morfologia costiera realizzata tramite rilievi in campo e analisi aerofotografica.

MORFOLOGIA	Lunghezza (metri)
Arcuata	8632,00
Lineare	8311,56
Frastagliata	7826,67
Area portuale	2884,26
Totale	27654,49

Tabella 13. Tabella riassuntiva del tipo di morfologia e della loro lunghezza sul totale del litorale in studio.

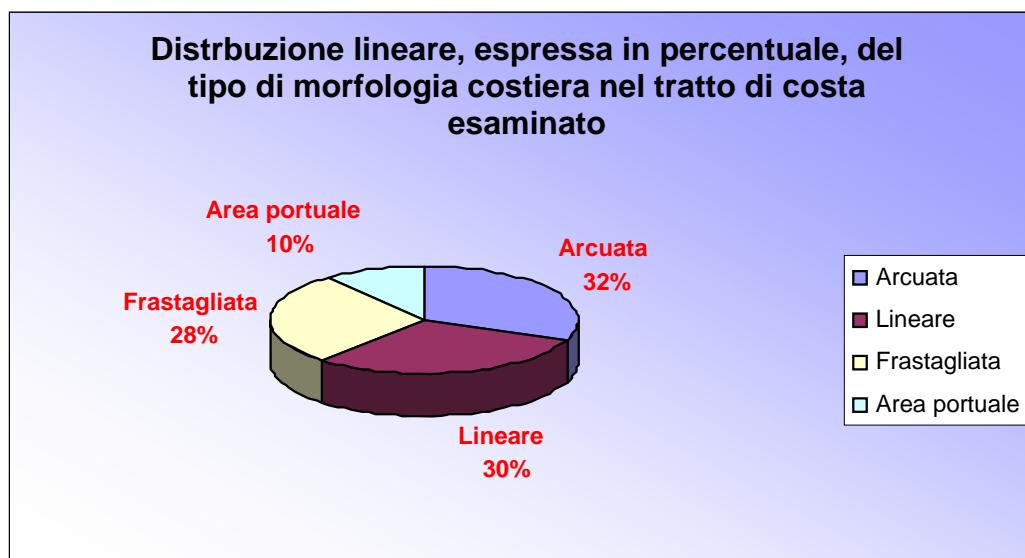


Figura 30. Grafico della distribuzione lineare, espressa in percentuale, del tipo di morfologia costiera nel tratto di costa esaminato.

8.1.1.3 Tessitura dei sedimenti

Il rilevamento di campagna ha permesso di poter individuare le tessiture dei sedimenti delle spiagge che sono state classificate in sette classi: depositi di frana in blocchi sparsi o addensati, ciottoli medi e grossolani ben elaborati medio, ciottoli medio - grossolani di ambiente fluvio - deltizio, sabbie con phi compreso tra 1.50 e 1.75 millimetri, sabbie con phi maggiore di 2 millimetri, depositi di posidonia spiaggiata, arenarie della Formazione del Cixerri.

Sono stati individuate diverse spiagge con caratteri fisico - morfologici differenti. Attraverso questa classificazione, ciascuno dei tratti costieri individuati nel litorale esaminato è stato suddiviso in più spiagge identificabili nella tabella sotto riportata.

SPIAGGIA	TESSITURA DEI SEDIMENTI	LUNGHEZZA (METRI)	AREA (mq)
Approdo di Nora	Ciottoli medio - grossolani di ambiente litorale a tessitura eterogenea, generalmente ben elaborati	257,00	3144,670
Baia degli Asfodeli - C. Saba	Ciottoli medio - grossolani di ambiente litorale a tessitura eterogenea, generalmente ben elaborati	482,00	5082,583

C. Saba - P.ta D'Agumu	Ciottoli medio - grossolani di ambiente litorale a tessitura eterogenea, generalmente ben elaborati	170,00	1702,469
Cala D'Ostia	Sabbie con phi > 2	366,00	3134,812
Cala D'Ostia - Foxi e Sali	Sabbie con phi compreso tra 1.50 - 1.75	937,00	9873,801
Capo di Pula	Sabbie con phi > 2	254,00	2239,533
Forte Village	Sabbie con phi compreso tra 1.50 - 1.75	1568,43	35170,214
Foxi e Sali	Sabbie con phi compreso tra 1.50 - 1.75	1377,00	42974,267
Foxi e Sali - Baia degli Asfodeli	Sabbie con phi compreso tra 1.50 - 1.75	618,00	5552,084
Is Morus	Sabbie con phi > 2	863,00	10906,411
	Ciottoli medio - grossolani di ambiente litorale a tessitura eterogenea, generalmente ben elaborati	99,00	1217,982
	Sabbie con phi > 2	158,00	2834,737
	Depositi di Posidonia spiaggiata	91,00	310,898
Is Morus - Cala d'Ostia	Ciottoli medio - grossolani di ambiente litorale a tessitura eterogenea, generalmente ben elaborati	611,00	5118,109
	Arenarie della formazione del Cixerri	22,00	217,084
	Ciottoli medio - grossolani di ambiente fluvio - deltizio	149,00	1396,638
	Sabbie con phi > 2	458,00	1757,887
	Depositi di frana in blocchi sparsi o addensati	265,00	1727,610
	Depositi di Posidonia spiaggiata	720,00	3605,568
P.ta Furcadizzo - Porto Perd'è Sali	Sabbie con phi > 2	1734,00	30408,741

Perla Marina	Sabbie con phi compreso tra 1.50 - 1.75	632,11	14974,210
Pinus Village	Sabbie con phi compreso tra 1.50 - 1.75	133,28	3716,251
Porto D'Agumu	Sabbie con phi > 2	1497,00	29583,513
Rada di S. Efisio	Sabbie con phi compreso tra 1.50 - 1.75	406,00	13622,610
Riva dei Pini	Sabbie con phi compreso tra 1.50 - 1.75	549,74	21959,337
Su Guventeddu	Sabbie con phi compreso tra 1.50 - 1.75	1052,00	21693,793
Su Stangioni Foxi Lino - P.ta Furcadizzo	Sabbie con phi compreso tra 1.50 - 1.75	1632,00	41217,159

Tabella 14. Tabella riassuntiva della tipologia di tessitura dei sedimenti di ciascuna spiaggia.

Dall'analisi effettuata in campo si osserva che nei pressi della torre di Cala d'Ostia è riscontrabile la presenza di ripe scavate nelle alluvioni terrazzate che raggiungono anche altezze di 6 o 7 metri. Le ripe si presentano costituite da ciottoli anche grossolani inglobati in un sabbione rossastro non molto coerente e risultano pertanto relativamente disaggregabili. Dinanzi ad esse la spiaggia, quasi totalmente assente, è costituita da una sottile striscia di sabbia grossolana e sono presenti soprattutto grossi blocchi andesitici o ciottoli elaborati dal mare ma provenienti dai depositi alluvionali. Stessa situazione si può osservare nella spiaggia di Is Morus dove però le ripe con altezza maggiore ai 3 metri sono esclusivamente di origine alluvionale e mostrano evidenti segni di erosione.

Presso la spiaggia di Santa Margherita e quella di Foxi e Sali e P.ta Furcadizzo si trovano i tratti sabbiosi più estesi. Nella spiaggia di Santa Margherita la sabbia è di granulometria medio - fine e le ripe di erosione retrostanti si presentano molto nette, per cui l'arretramento della spiaggia manifesta qui una certa evidenza. In corrispondenza della foce del Rio Gironi, nel tratto di costa compreso tra Is Morus e Cala d'Ostia, sono visibili dei ciottoli di origine fluviale distinguibili da quelli marini per il fatto di avere spigoli vivi e non elaborati.

Presso la spiaggia di Foxi e Sali, invece, la fascia delle alluvioni è ancora più distante dalla linea di riva e la spiaggia mantiene così una discreta ampiezza; inoltre, gli apporti del corso d'acqua che ivi sfocia assicurano un certo apporto sedimentario, sebbene assai modesto ma costante. A Nord della foce del rio Foxi e Sali si presenta invece una spiaggia con tessitura ciottolosa e alla base della Punta di Agumu vi è una scogliera di rocce andesitiche fortemente erosa, dinanzi alle quali si estende un'ampia piattaforma di abrasione marina.

Tra Punta di Agumu e il Capo di Pula la costa non è altro che una piccola insenatura divisa in due parti, il Porto Agumu e la Cala di Nora, racchiusa dalla penisola di Fradis Minoris. Nella parte più interna della Cala di Nora sfocia il Rio Arrieras che con i suoi apporti ha determinato l'avanzamento della linea di costa, favorito anche dall'assetto dell'insenatura che, ben riparata, conserva al suo interno i vari sedimenti.

Tipo di tessitura dei sedimenti	Superficie (mq)	Distribuzione
Arenarie della formazione del Cixerri	217,08	0,07%
Ciottoli medio - grossolani di ambiente fluvio - deltizio	1396,63	0,45%
Ciottoli medio - grossolani di ambiente litorale a tessitura eterogenea, generalmente ben elaborati	16265,81	5,21%
Depositi di Posidonia spiaggiata	3916,46	1,25%
Depositi di frana in blocchi sparsi o addensati	1727,61	0,55%
Sabbie con phi > 2 mm	78030,89	24,99%
Sabbie con phi compreso tra 1.50 - 1.75 mm	210753,72	67,48%
TOTALE	312308,23	100,00%

Tabella 15. Tabella riassuntiva della tipologia e della distribuzione percentuale della tessitura dei sedimenti.

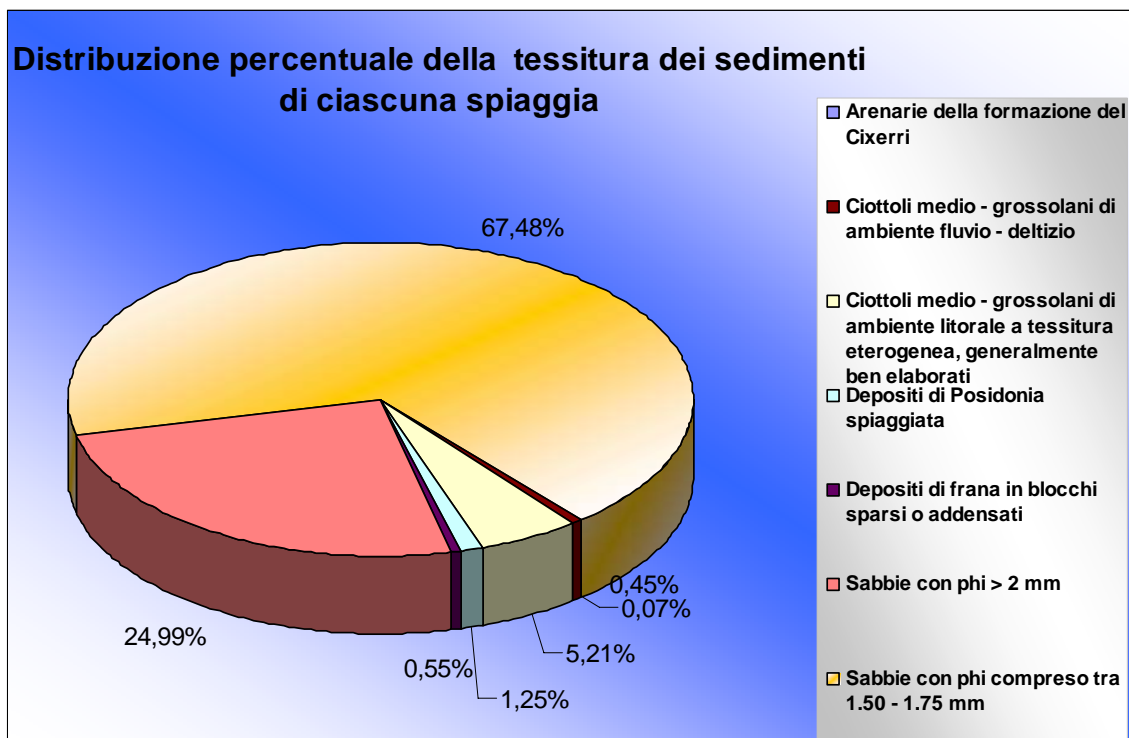


Figura 31. Grafico della distribuzione percentuale e del tipo di tessitura dei sedimenti nelle spiagge esaminate.

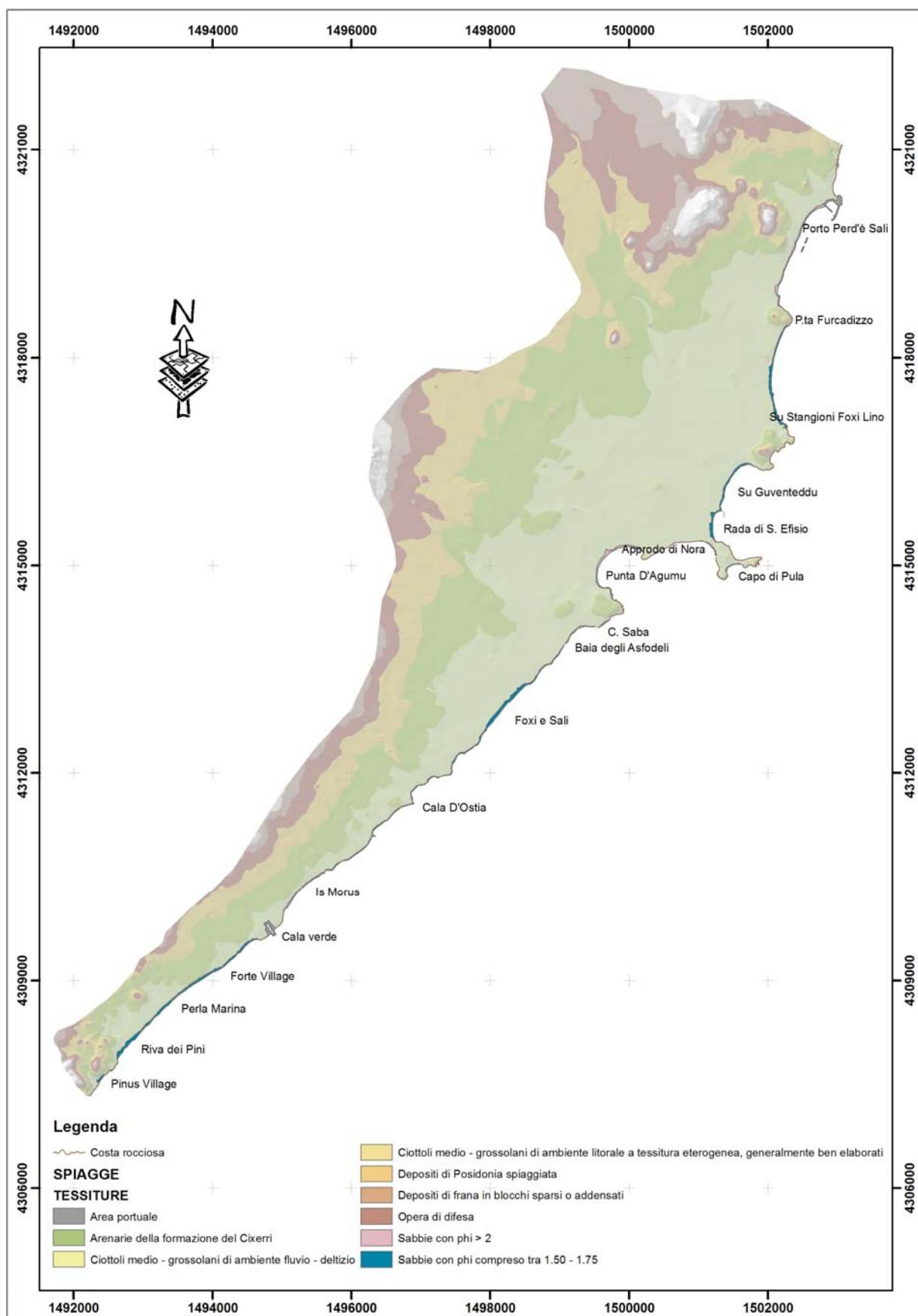


Figura 32. Carta della tessitura dei sedimenti relativa al tratto di costa studiato, derivata da rilevamento sul campo.

8.1.1.4 Uso della costa

Sulla base del *dataset* dell'uso del suolo precedentemente descritto si è cercato di dare un contributo aggiornato e dettagliato alla conoscenza delle destinazioni d'uso del suolo in zona costiera, ovvero dei modi attraverso cui viene esercitato l'uso delle risorse del territorio da parte dell'uomo (Figura 34). Dall'esame delle informazioni raccolte risulta che nel territorio costiero esistono diverse tipologie d'uso che alternano, ad aree conservate allo stato naturale costituite da vegetazione rupicola, macchia alta, macchia bassa e boschi di latifoglie, aree con insediamenti turistico-residenziali e strutture turistico-ricettive, come alberghi, ristoranti e campeggi (Figura 33). Sono inoltre presenti due piccoli porti turistici e alcuni siti di interesse naturalistico.

Dall'osservazione dei dati si può notare che solo il 35% del litorale esaminato conserva le sue caratteristiche naturali. Questo è dovuto al fatto che durante il corso degli anni la fascia litoranea è stata interessata da un forte grado di antropizzazione, il quale ha di fatto ridotto lo spazio naturale del sistema spiaggia verso monte e a volte anche al di sopra del corpo di spiaggia, come nel caso degli insediamenti turistici di Is Morus, costruito totalmente sulla Formazione del Cixerri, e del Forte Village, le cui strutture si affacciano direttamente sulla spiaggia. Questo è il caso anche di alcune abitazioni che, si ritrovano a ridosso della linea di riva.



Figura 33. Fabricato facente parte del complesso degli insediamenti turistici addensati in villaggio e strutture alberghiere della spiaggia di Is Morus.

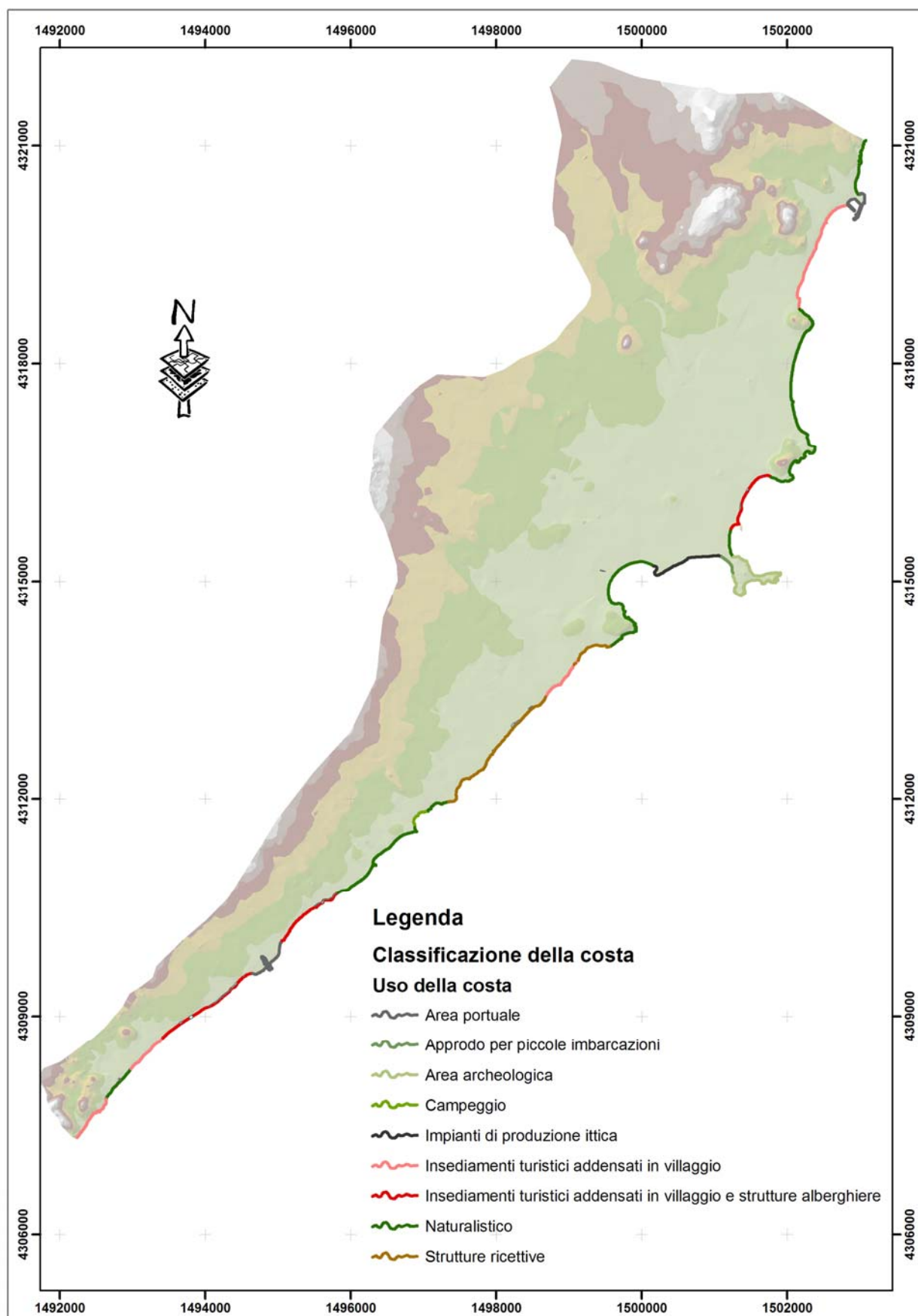


Figura 34. Carta dell'uso della costa realizzata tramite rilievo in campo, aerofotointerpretazione e riclassificazione della carta dell'uso del suolo.

L'elevata presenza antropica a fini turistici ha incrementato il rischio di degrado dell'ambiente costiero, come ad esempio lo smantellamento dei piccoli lembi dunali ancora presenti per fare posto ai centri balneari, villaggi residenziali e porticcioli turistici (Tabella 16). Questo ha portato ad una completa destrutturazione del sistema duna-spiaggia con la scomparsa di habitat e specie di importanza comunitaria a causa dell'assenza di una gestione dei flussi turistici e delle attività umane (costruzione di accessi, parcheggi, transito non regolamentato ecc.) nelle aree dunali e retro dunali. Inoltre, in alcune aree l'erosione mette sempre più in crisi infrastrutture, abitazioni e strutture turistiche, rendendo impraticabili litorali di notevole pregio ed importanza (basti pensare al litorale di Perd'e Sali e anche alcuni tratti di Santa Margherita, vedi Figura 35).



Figura 35. Evidente processo di arretramento della spiaggia del Forte Village, dovuto all'azione marina e al forte grado di antropizzazione del litorale.

Classificazione dell' uso costiero	Lunghezza tratto costiero (metri)	Uso costiero (%)
Approdo per piccole imbarcazioni	287	1,09%
Impianti di produzione ittica	1171	4,44%
Area archeologica	2264	8,59%

Area portuale	2614	9,92%
Campeggio	369	1,40%
Insedimenti turistici addensati in villaggio	3806	14,44%
Insedimenti turistici addensati in villaggio e strutture alberghiere	3730	14,15%
Naturalistico	9442	35,82%
Strutture ricettive	2677	10,16%
TOTALE	26360	100,00%

Tabella 16. Classi di uso della costa derivate dal dataset uso e copertura del suolo e da verifiche sistematiche di campo per l'area in studio, con indicazione delle voci descrittive di legenda e delle superfici occupate in mq ed in % sul totale delle spiagge in esame.

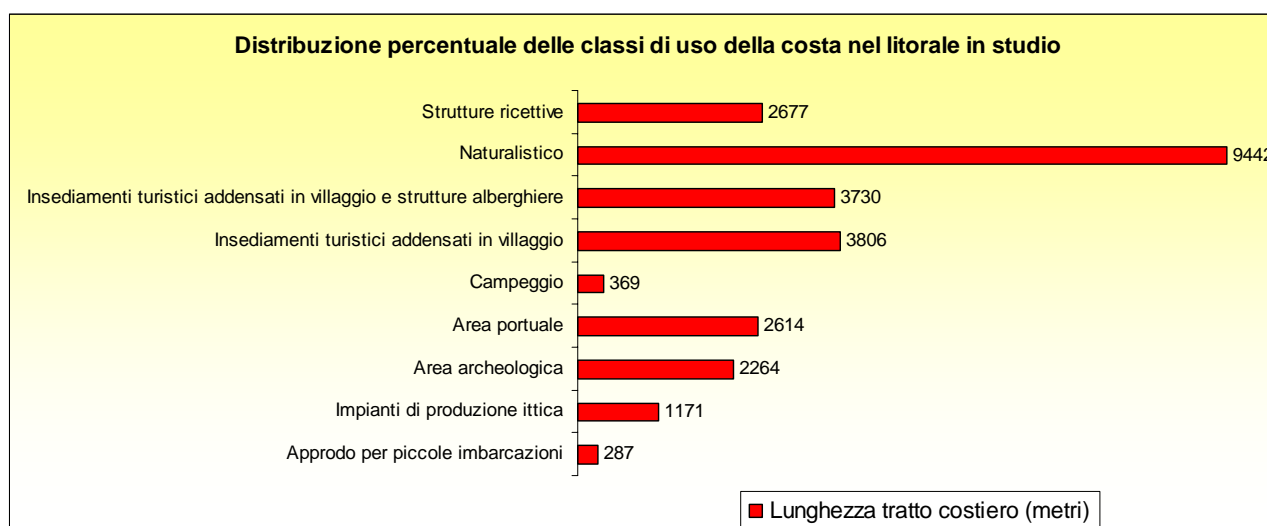


Figura 36. Grafico a barre della distribuzione percentuale delle classi di uso della all'interno del territorio studiato derivato livello informativo uso e copertura del suolo.

Dal grafico si può osservare che solo 9 chilometri di costa sui 27 studiati hanno carattere naturalistico, il resto del litorale presenta uno stato di antropizzazione più o meno elevato con una distribuzione varia su tutta la costa.

8.1.1.5 Uso antropico dei compendi sabbiosi

Attraverso una ricerca effettuata presso gli uffici della RAS, analisi delle ortofotocarte del 2006 e tramite verifiche in campo (Agosto 2006), è stato realizzato un *dataset* che riporta le concessioni demaniali presenti nel litorale esaminato (Figura 37).

Le concessioni sono presenti in 6 spiagge ed hanno diversi usi come riportato nella Tabella 17.



Figura 37. Dettaglio del dataset delle concessioni demaniali in un tratto della spiaggia di Santa Margherita.

Spiaggia	Tipo di concessione	Codice Identificativo	Superficie (mq)
Foxi e Sali	Scivolo alaggio e varo	SAV	13
	Alaggio e varo	AVA	42
	Chiosco bar; ass - area asservita	CHI - ASS	88
	Posa attrezz.re baln. Noleggio corsia di lancio	ABN	10
	Posa attrezz.re baln. Esclusivo	ABC	60
Is Morus	Posa attrezz.re baln. Esclusivo	ABC	31
Perla Marina	Noleggio piccoli natanti; Posa attrezz.re baln.	NPN -ABN	49
Porto D'Agumu	Posa attrezzature balneazione; Noleggio piccoli natanti;	ABN -NPN	57
Santa Margherita	Chiosco bar; Noleggio piccoli natanti; Torretta avvistamenti	CHI – NPN-TOR	12
	Posa attrezz.re baln. Noleggio; npn - noleggio piccoli natanti	ABN -NPN	18
	Posa attrezz.re baln. Esclusivo	ABC	17
	Copertura di ombreggio	CDO	20
	Copertura di ombreggio	CDO	40
	Posa attrezz.re baln. Noleggio; Chiosco bar; Biglietteria	ABN – CHI - BIG	45
	Posa attrezz.re baln. Noleggio; Noleggio piccoli natanti;	ABN -NPN	30
Su Guventeddu	Posa attrezz.re baln. Esclusivo;	ABC	54
	Posa attrezz.re baln. Noleggio; Noleggio piccoli natanti	ABN -NPN	79
Totale			665

Tabella 17. Concessioni demaniali presenti nelle spiagge del litorale studiato con indicazione delle voci descrittive di legenda e delle superfici occupate in mq ed in % sul totale delle spiagge in esame.

Nel complesso le concessioni demaniali ricoprono una superficie di 665 mq su un totale di 312308,23 mq di arenile, pari allo 0,2% sul totale delle spiagge in esame. Esaminando in dettaglio la distribuzione delle concessioni, si può evincere che esse non arrivano ad occupare neanche il 1% della superficie totale di ogni singolo arenile come si vede dalla tabella e dal grafico sottostante.

Spiaggia	Superficie concessioni demaniali (mq)	Superficie spiaggia (mq)	Distribuzione(%)
Perla Marina	49	14974,21	0,33%
Foxi e Sali	213	42974,27	0,50%
Is Morus	31	12435,29	0,25%

Porto D'Agumu	57	29583,51	0,19%
Santa Margherita	182	35170,21	0,52%
Su Guventeddu	133	21693,79	0,61%
<i>Totale</i>	665	156831,28	0,42%

Tabella 18. Concessioni demaniali presenti nelle spiagge del litorale studiato con indicazione delle superfici occupate in mq ed in % sul totale delle spiagge.

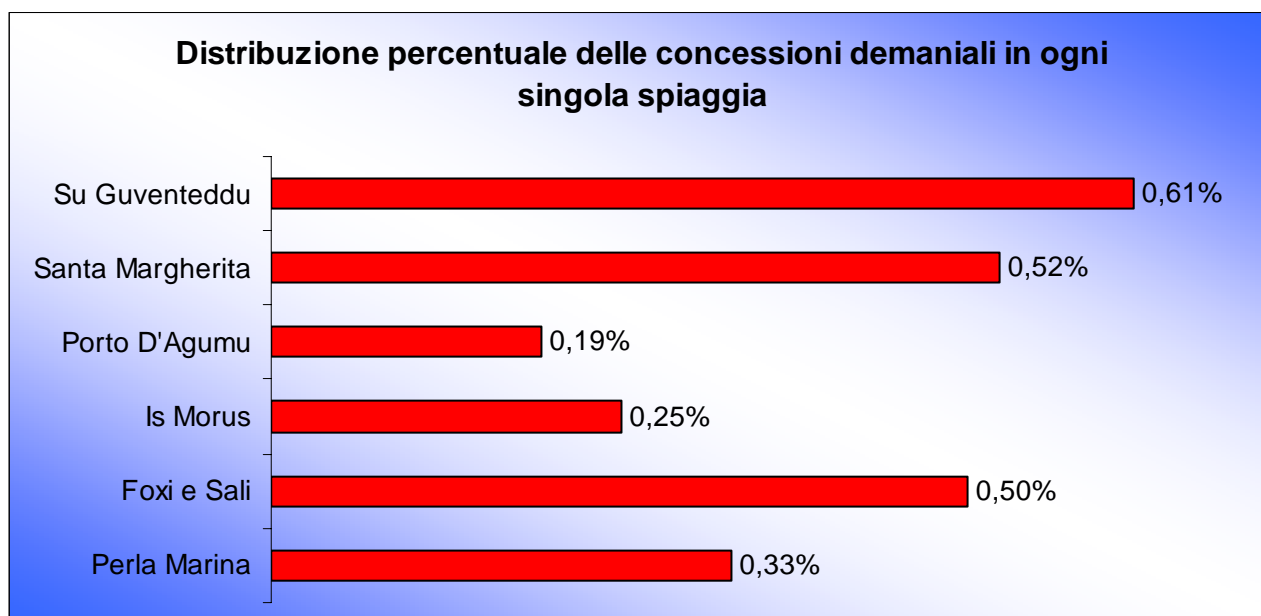


Figura 38. Grafico della distribuzione delle concessioni demaniali presenti nelle spiagge del litorale studiato con indicazione delle superfici in % sulla superficie totale di ogni singola spiaggia.

8.1.1.6 La carrying capacity

Per via delle sue risorse naturali, la piana di Pula è interessata da una crescente pressione turistica e insediativa. La ricettività alberghiera si basa su diversi esercizi (albergo Is Morus, Forte Village, Barca a Vela, Hotel Flamingo, etc) e diversi campeggi.

Numerosi sono i turisti pendolari che non pernottano sulla piana ma visitano le belle spiagge. Si stima che nelle ultime stagioni estive si è giunti a superare complessivamente le 250.000 presenze turistiche.

Considerando il fatto che tali presenze si concentrano in particolare nei tre mesi estivi, si può facilmente intuire il notevole impatto sul territorio in questo periodo; le aree più esposte a tale pressione di fruizione sono le spiagge. Pertanto, su queste aree particolarmente sensibili e vulnerabili occorre adottare una corretta gestione volta sia alla loro valorizzazione ai fini economici ma specialmente alla loro conservazione.

Per questo motivo è stata definita la capacità di carico della spiaggia (*carrying capacity*); per stabilire gli spazi effettivamente fruibili dai bagnanti si è fatto riferimento ai caratteri di

naturalità degli arenili (spiagge, dune di retrospiaggia, accessi al mare attualmente esistenti). La *carrying capacity* è stata calcolata tramite un metodo che tiene conto dei caratteri geoambientali del litorale e delle sue tendenze evolutive. La metodologia consiste nello studiare e descrivere le 10 principali spiagge dell'area in esame tramite rilevamenti in campo e fotointerpretazione, valutando in tal modo la qualità ambientale, il rischio di degrado e definendo successivamente la *carrying capacity* attraverso il calcolo di un coefficiente di carico (Arisci et al., 2000; Arisci et al., 2002). Applicando questa metodologia è emerso il numero di bagnanti ammissibile per metro quadrato di spiaggia affinché si possa realizzare una gestione conservativa dell'arenile.

In Tabella 19 sono state riportate le 10 spiagge con le loro principali caratteristiche geografiche ed ambientali, mentre in Tabella 20 sono riportati i parametri per la valutazione della qualità ambientale.

Quest'ultima è stata definita attraverso una valutazione delle componenti ambientali e degli elementi utili per l'esperienza ricreativa del paesaggio (Di Fidio, 1991). Per definire la qualità ambientale sono stati presi in considerazione i molteplici caratteri delle singole spiagge come la geomorfologia, la tipologia e la diversità di habitat (scogliere molto acclivi, coste rocciose, dune, ecc.), la presenza di un bacino di alimentazione, la tendenza evolutiva (grado di erosione costiera), la flora e fauna, gli aspetti scenografici (forme d'insieme, colori, ecc.) e l'interesse dal punto di vista turistico.

Dalla qualità ambientale delle spiagge, prendendo in considerazione i fattori dell'accessibilità e della pressione di fruizione da parte dei bagnanti, è stato poi calcolato il rischio di degrado da cui si è poi definito il coefficiente di carico in termini di numero di bagnanti che le singole spiagge possono sostenere senza che vengano compromesse irreversibilmente le caratteristiche ambientali. Per ogni spiaggia è stato valutato il grado d'accessibilità: alle spiagge raggiungibili soltanto da strade private o via mare e quindi meno suscettibili alla frequentazione è stato dato il valore di 1, mentre a spiagge vicine alla viabilità principale od agli abitati è stato dato il valore di 3.

Strettamente collegata all'accessibilità della spiaggia ma anche all'attrazione che questa esercita sui bagnanti (e quindi alla qualità ambientale), è la pressione di fruizione con valori da 1 a 3. Le spiagge meno attraenti e meno accessibili hanno ottenuto una valutazione di 1 o 2, mentre tutte le altre hanno ottenuto una valutazione di 3. La somma dei valori d'accessibilità, pressione di fruizione e qualità ambientale ha consentito, poi, di valutare il rischio di degrado per ciascuna spiaggia che, a sua volta, influenza il coefficiente di carico.

La valutazione di tale coefficiente è frutto di una pluriennale indagine effettuata prendendo in considerazione diverse spiagge della Sardegna meridionale (Villasimius, Chia, Poetto) nelle quali è stato calcolato il numero di bagnanti per unità di superficie di spiaggia, rispettivamente in bassa, media ed alta stagione. In questo modo è stato possibile definire il carico ammissibile di bagnanti in funzione della superficie dell'arenile che è risultato essere di una persona ogni 10 mq. Tale

valore di coefficiente di carico è stato applicato alle spiagge meno sensibili, e quindi a più basso rischio di degrado, come quella di Su Guventeddu, mentre per quelle più sensibili (a più alto rischio di degrado) come la spiaggia di Riva dei Pini, il coefficiente di carico adottato è di una persona per 20 mq di superficie. Per le spiagge più sensibili in assoluto (Pinus Village), il coefficiente di carico suggerito è di una persona ogni 30 mq di superficie.

Questi coefficienti di carico così definiti prendono in considerazione la superficie della spiaggia effettivamente utilizzabile per la balneazione e non la lunghezza come nel caso del coefficiente adottato nella Circolare n° 5 del 20 Marzo 1978 dell'Assessorato all'Urbanistica della Regione Autonoma della Sardegna per valutare il numero dei bagnanti ammissibili lungo le coste dell'isola ai fini turistico - residenziali (n° 2 posto – bagnante/ml per costa sabbiosa con profondità maggiore ai 50 m; n° 1 posto bagnante/ml per costa sabbiosa con profondità minore ai 50 m; n° 0.5 posto – bagnante/ml per costa rocciosa accessibile).

In Tabella 22 sono riportati i risultati delle valutazioni effettuate sulle spiagge utilizzando questi due coefficienti di carico, che mettono in luce una leggera variazione della capacità di carico complessiva per tutte le spiagge (12470 bagnanti ammissibili secondo la normativa nazionale, 17787 secondo la metodologia proposta), ma denotano una più spiccata diversità di carico relativamente alle singole spiagge, ciascuna delle quali con caratteristiche naturali specifiche (tessitura dei sedimenti, energia incidente, tendenze evolutive, caratteri vegetazionali, ecc.).

Nome della spiaggia	Litologia	Morfologia della costa	Lunghezza	Larghezza massima (metri)	Tessitura del sedimento	Alimentazione da corsi d'acqua o pocket beach	Coefficiente d'energia incidente	Uso della costa
Pinus Village	Graniti e Depositi Alluvionali	Lineare	133	32	Sabbia fine	Pocket beach	2	Insedimenti turistici addensati in villaggio
Riva dei Pini	Depositi Alluvionali	Lineare	550	51	Sabbia fine	Foce fluviale	2	Insedimenti turistici addensati in villaggio
Perla Marina	Depositi Alluvionali	Lineare	632	35	Sabbia fine	Foce fluviale	2	Insedimenti turistici addensati in villaggio
Forte Village	Depositi Alluvionali e Formazione del Cixerri del Cixerri	Lineare	1568	25	Sabbia fine	Foce fluviale	2	Insedimenti turistici e struttura alberghiera
Is Morus	Formazione del Cixerri	Lineare	1053	25	Sabbia fine e ciottoli	Pocket beach	2	Insedimenti sparsi e struttura alberghiera
Foxi e Sali	Depositi Alluvionali	Lineare	1377	55	Sabbia fine	Foce fluviale	2	Strutture ricettive e strutture alberghiere
Rada di S. Efisio	Depositi Alluvionali	Lineare	406	52	Sabbia fine	Pocket beach	2	Naturalistico
Su Guventeddu	Depositi Alluvionali	Arcuata	1052	25	Sabbia fine	Pocket beach	2	Insedimenti turistici addensati e struttura alberghiera
Su Stangioni Foxi Lino - P.ta Furcadizzo	Depositi Alluvionali	Arcuata	1632	47	Sabbia fine	Foce fluviale	2	Naturalistico
P.ta Furcadizzo - Porto Perd' è Sali	Depositi Alluvionali	Lineare	1734	42	Sabbia fine e ciottoli	Foce fluviale	2	Insedimenti turistici addensati in villaggio

Tabella 19. Le principali spiagge della piana di Pula le loro principali caratteristiche geografiche ed ambientali.

Denominazione spiagge	Ig	Fl	Fa	Th	H	Te	It	Vs	Totale (Qa)
Pinus Village	3	3	1	Sa, Crb	3	2	3	3	18
Riva dei Pini	3	3	1	Sa, Du, F	2	2	2	2	15
Perla Marina	3	2	1	Sa, Du,	2	2	3	2	15
Forte Village	3	2	1	Sa,	2	2	3	2	15
Is Morus	2	1	1	Sa, Cra,	2	3	2	2	13
Foxi e Sali	2	3	3	Sa, F	3	2	3	1	17
Rada di S. Efisio	2	2	1	Sa	2	1	3	2	13
Su Guventeddu	2	2	1	Sa	1	2	2	2	12
Su Stangioni Foxi Lino - P.ta Furcadizzo	1	2	2	Sa, F	2	1	2	1	11
P.ta Furcadizzo - Porto Perd' è Sali	2	1	1	Sa	1	3	2	1	10

Ig = Interesse geologico – geomorfologico ; Fl = Flora; Fa = Fauna; Th = Tipologia di habitat (Sa = Sabbia, Crb = Costa rocciosa bassa, Cra = Costa rocciosa alta, F = Foce, Du = Dune embrionali); H = Grado di diversità di habitat, con valutazione sul livello di interesse scientifico, didattico – culturale o paesaggistico; Te = Tendenza evolutiva; It = Interesse turistico (Accessibilità e servizi nelle vicinanze); Vs = Valenza scenografica; Qa = Qualità ambientale che tiene conto delle caratteristiche e dello stato di conservazione della spiaggia e dell' unità fisiografica che la contiene.

Tabella 20. Qualità ambientale delle spiagge.

Nome spiaggia	Accessibilità	Pf	Qualità ambientale	Rischio di degrado	Coefficiente di carico
Pinus Village	3	3	18	24	0.025
Riva dei Pini	2	3	15	20	0.05
Perla Marina	3	3	15	21	0.05
Forte Village	2	3	15	20	0.05
Is Morus	1	2	13	16	0.1
Foxi e Sali	3	3	17	23	0.05
Rada di S. Efisio	3	3	13	19	0.1
Su Guventeddu	2	2	12	16	0.1
Su Stangioni Foxi Lino - P.ta Furcadizzo	2	1	11	14	0.1
P.ta Furcadizzo - Porto Perd' è Sali	3	3	10	16	0.1
<p>Accessibilità : 1 = difficile, 2 = relativamente semplice, 3 = molto semplice; Pressione di fruizione (Pf) : 1 = poco frequentata, 2 = mediamente frequentata, 3 = molto frequentata; Livello del rischio di degrado = Accessibilità + Pressione di fruizione + Qualità ambientale; Coefficiente di carico valutato in funzione del rischio di degrado : fino a 19 = 0.1 unità/mq pari a 10 mq di spiaggia a persona, da 20 a 23 = 0.05 unità/mq pari a 20 mq di spiaggia a persona, maggiore di 23 = 0.025 unità/mq pari a 50 mq di spiaggia a persona.</p>					

Tabella 21. Rischio di degrado e coefficiente di carico delle spiagge.

Nome spiaggia	Lunghezza (Metri)	Coefficiente di carico* (bagnanti/m lineare di spiaggia)	Numero di bagnanti ammissibili*	Superficie (mq)	Coefficiente di carico (bagnanti/mq di spiaggia)	Capacità di carico(bagnanti)
Pinus Village	133	1	133	3716	0.025	93
Riva dei Pini	550	2	1100	21959	0.05	1098
Perla Marina	632	1	632	14974	0.05	749
Forte Village	1568	1	1568	35170	0.05	1760
Is Morus	1053	1	1053	12435	0.1	1243
Foxi e Sali	1377	2	2754	42974	0.05	2149
Rada di S. Efisio	406	2	812	13662	0.1	1366
Su Guventeddu	1052	1	1052	21693	0.1	2169
Su Stangioni Foxi Lino - P.ta Furcadizzo	1632	1	1632	41217	0.1	4121
P.ta Furcadizzo - Porto Perd' è Sali	1734	1	1734	30408	0.1	3040
Totale	10137	-	12470	238208	-	17787
* = Coefficiente di carico e numero di bagnanti ammissibili per metro lineare secondo la circolare dell' Assessorato all' urbanistica in data 20 Marzo 1978, n.5 (Am-Ma); ° = Coefficiente di carico secondo Arisci, De Waele e Di Gregorio (2000). Capacità di carico = superficie della spiaggia x coefficiente di carico.						

Tabella 22. Caratteristiche delle spiagge e numero totale sostenibile di bagnanti.

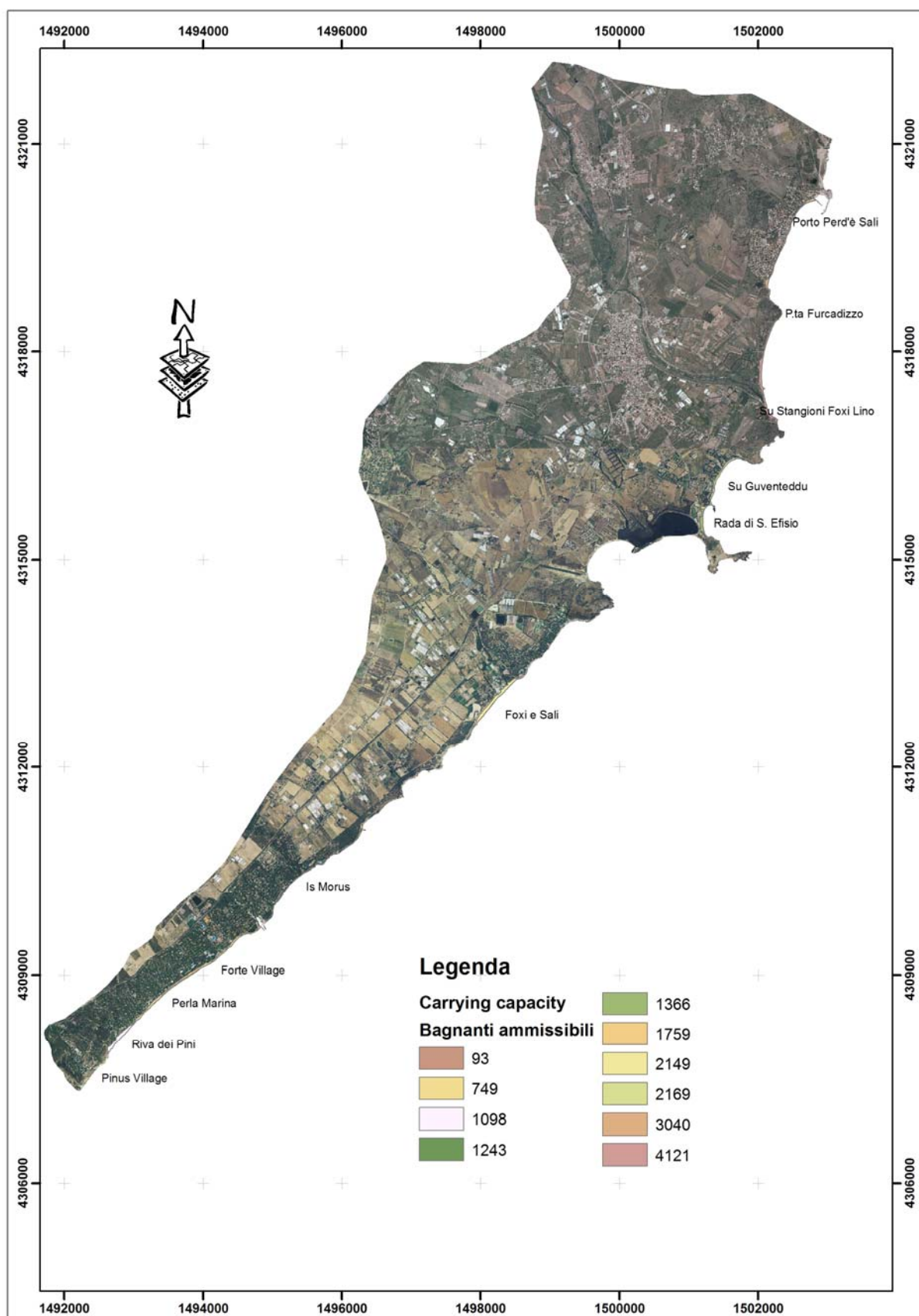


Figura 39. Carta della carrying capacity delle principali spiagge presenti nel litorale studiato con indicazione del numero massimo di bagnanti ammissibili per singola spiaggia secondo il calcolo basato sulla metodologia Arisci et al.

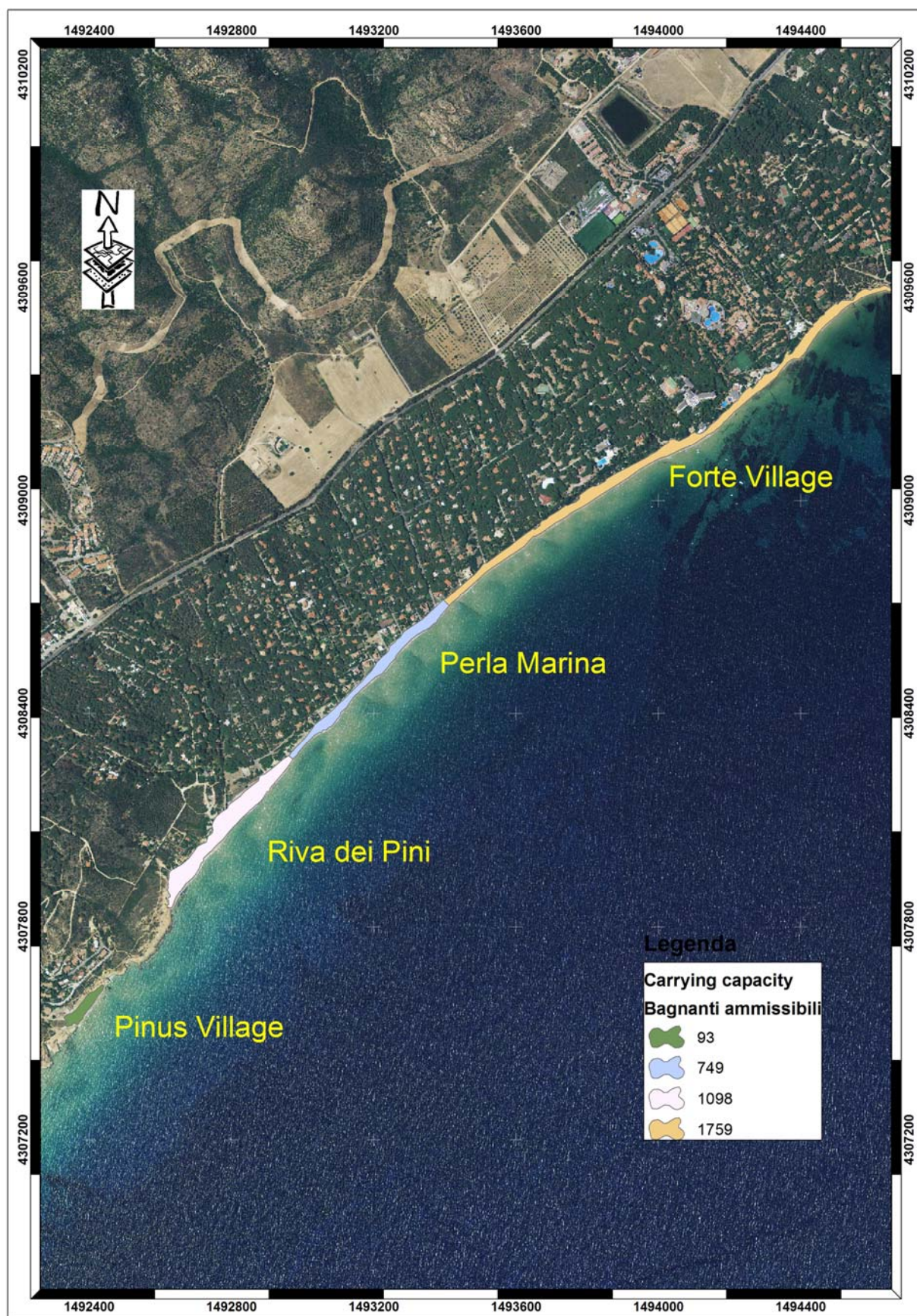


Figura 40. Dettaglio della carta della carrying capacity relativa alla spiaggia di Santa Margherita.

8.2 Studio e valutazione della dinamica costiera

La costa, linea di confine tra terra e mare, ha subito nel tempo gli impatti collegati al ciclo dell'erosione che, per le cinture sabbiose, comprende le tre fasi dell'erosione vera e propria, del trasporto e del deposito dei sedimenti. Il ciclo si determina in rapporto con la dinamica della colonna d'acqua sulla quale agiscono le onde, le maree, le correnti costiere, i fenomeni climatici e geodinamici ordinari ed i cambiamenti globali.

Le dinamiche di ciclo sono state favorevoli, nel lungo termine, alla fase di deposito ed accrescimento delle cinture costiere sabbiose fino alla metà del XX secolo. La tendenza si sta invertendo per effetto delle pressioni antropiche e dei cambiamenti del livello del mare per effetto serra.

Anche se i fenomeni naturali, di natura tanto eccezionale che stagionale, hanno rilievo sui processi di erosione, gli effetti più gravi a medio termine sono di origine antropica. Le cause di principali della rapida destabilizzazione dell'ambiente costiero sono, le seguenti:

- l'intensa antropizzazione delle coste a fini turistici ed industriali con lo smantellamento delle dune per fare posto ai centri balneari, villaggi residenziali e porticcioli turistici;
- l'impoverimento dell'apporto solido dei fiumi al mare per l'indiscriminato asporto di materiale dal letto dei corsi d'acqua e per la presenza di dighe di ritenuta.

I fattori di pressione legati alle attività umane si determinano in funzione delle modalità di gestione del territorio a ridosso della costa, delle opere a mare, del deficit dell'apporto detritico dai bacini fluviali determinato dall'impoverimento del trasporto solido, dalla regimazione dei corsi d'acqua per finalità energetiche ed agricole e da alcuni fattori di origine locale legati alla morfologia delle coste. I fenomeni di subsidenza costiera che incidono sulla linea della spiaggia possono avere origine naturale, ma spesso sono prodotti da interventi umani sulla falda acquifera.

Le zone costiere subiscono pressioni ambientali di origine antropica superiori al normale per effetto del modello di sviluppo e di consumo attuale proprio perché sono i luoghi dove la gente ama vivere e lavorare e dove si svolge una grande percentuale delle attività ricreative e turistiche, che si sommano ad una quantità elevata di attività di commercio e di scambio. I fattori di pressione sono determinati da una accentuata spinta all'urbanizzazione, dalla tendenza alla violazione delle leggi ed all'abusivismo edilizio, dalla preferenza per la infrastrutturazione trasportistica in aree costiere (strade, ferrovie), quando non addirittura sulla linea di costa, dai porti, dal turismo, dall'agricoltura, dalla pesca, dall'industria, ivi attirata anche da un più facile smaltimento di reflui, dagli impianti energetici che trovano acqua a portata di mano.

Dalla fine degli anni '50 ad oggi, la fascia costiera è stata utilizzata come un bene inesauribile e indistruttibile su cui fosse possibile gravare con un numero illimitato di opere senza

curarsi delle conseguenze, invece di amministrarlo come un bene prezioso che doveva durare nel tempo per permettere una migliore resa economica.

I successivi interventi con la costruzione delle più svariate opere di difesa sono stati spesso del tipo "tampone" sotto la spinta dell'urgenza. Si tratta, cioè, di opere realizzate in tempi diversi ed in aree limitate che hanno rimandato la soluzione del problema senza risolverlo.

Oggi sulle coste sono presenti opere di difesa di tutti i tipi, costruite per le più svariate esigenze, che troppo spesso non sono il risultato di una progettazione oculata secondo una visione generale del problema, bensì sono realizzate nella vana ricerca di un'opera di difesa "universale" che risolva tutti i problemi.

Per poter osservare le variazioni della linea di riva negli anni compresi tra il 1968 e 2006 sull'intero litorale è stato svolto uno studio basato su tre fasi:

- recupero e valutazione delle carte catastali e delle foto aeree storiche;
- elaborazione informatica delle foto;
- analisi dei dati elaborati.

8.2.1 Recupero e valutazione di carte catastali e foto aeree storiche

Lo studio è stato condotto in modo da poter analizzare le variazioni della linea di riva in un arco di tempo che fosse il più ampio possibile. Per ottenere questa analisi si è cercato quindi di reperire il maggior numero di informazioni possibili, presso i vari enti (Archivio di Stato, Regione Autonoma della Sardegna, Provincia di Cagliari, Amministrazioni comunali.). Attraverso l'analisi storica è stato possibile avere un inquadramento generale della variazione del territorio e della linea di riva nei diversi anni.

Sono state reperite diverse Carte storiche e foto aeree risalenti a fine degli anni 800, fino ai giorni nostri:

- carta storica di La Marmora risalente alla fine dell'Ottocento (scala 1: 50000), reperita presso l'Archivio di Stato, da cui è ben visibile la trasformazione del territorio specialmente per ciò che concerne l'addensamento della popolazione;
- CTR numerica in formato vettoriale *dxf*, direttamente acquisibile ed utilizzabili, a meno di relativamente facili operazioni di adattamento, sia nel formato 2D per avere una migliore gestione delle rappresentazioni su mappa, sia nel formato 3D per l'elaborazione di dati morfometrici relativi alla spiaggia e per rappresentazioni su mappe tridimensionali;
- CTR 1968 in formato *raster tiff*, che opportunamente scannerizzate e georeferenziate, secondo il sistema di riferimento citato in precedenza, hanno fornito informazioni storiche sulla evoluzione dell'uso del territorio costiero e hanno offerto un parametro di confronto con la CTR numerica rilevata alla medesima scala;

- ortofoto 1997 - 2003 bianco e nero in formato *raster jpg*, come detto per la CTR 1968 anche questo formato digitale offre la possibilità di una lettura nel passato del territorio costiero e quindi il confronto con dati più recenti per la valutazione quantitativa delle modificazioni;
- ortofoto 2000 – 2006 a colori in formato *raster ecw*, che offrendo la possibilità di avere un quadro territoriale ben definito in un preciso lasso di tempo, diventano un supporto imprescindibile per la interpretazione settoriale del territorio, per la derivazione di dati interpretati e ancora per la verifica di dati acquisiti da fonti incerte;
- foto aeree 1977 a colori in formato *raster jpg*, che sono state opportunamente scannerizzate e georeferenziate con i limiti di distorsione per certi aspetti inevitabili ed usate per la determinazione della linea di riva oltre che per la redazione di documenti a validità storica in formato digitale vettoriale, implementabili in analisi spaziale tramite funzionalità GIS. Rappresentano anche documentazione di un archivio storico che diviene parte integrante della banca dati;
- foto aeree 1968 bianco e nero in formato *raster jpg*, idem come definito sopra;
- cartografia IGM ultima edizione in formato *raster jpg*, opportunamente scannerizzati ed integrati hanno offerto un quadro territoriale ampio a più piccola scala, ma sempre utile in un conteso territoriale vasto come quello costiero;
- cartografia IGM storica in formato *raster jpg*, anche questi dati *raster*, georeferenziate secondo il sistema di coordinate di riferimento, predisposto per la realizzazione della banca dati geografica, hanno offerto un supporto all'analisi storica ed evolutiva di una ampia fascia del territorio oltre che della costa.

Limitatamente al tratto di costa compreso tra Pinus Village e Cala D'Ostia sono state reperite:

- foto aeree 1986 - 1989 bianco e nero in formato *raster Tiff*, Opportunamente scannerizzate e georeferenziate sono state un ottimo supporto informatico per la determinazione dell'evoluzione della linea di riva storica relativa al tratto di costa compreso tra Pinus Village e Cala D'Ostia;
- foto aeree a colori (voli costa) della Regione Autonoma della Sardegna relative a diverse annate in formato *raster jpg*, idem come definito sopra.

8.2.2 Elaborazione informatica delle foto

Per quantificare lo stato di erosione, di stabilità o di avanzamento del litorale in esame è stato necessario avere dei confronti tra le varie linee di riva relative ai diversi anni ottenute digitalizzando la linea di costa sulla base dei dati cartografici e aerofotografici precedentemente elencati. Prima di giungere a questo risultato è stato necessario, come accennato

precedentemente, effettuare diverse operazioni con diversi software in modo da ottenere una standardizzazione delle Carte e foto aeree disponibili. Il primo passo è stato quello di convertire, ove necessario, le foto aeree in formato digitale. Le foto aeree così acquisite risultavano prive di sistema di riferimento, è stato quindi indispensabile procedere al processo di georeferenziazione in modo tale da poter avere la certezza assoluta che ogni fotogramma di anno differente avesse le stesse coordinate geografiche.

Infatti con il processo di georeferenziazione si assegnano ai punti noti del *raster* le proprie coordinate reali di riferimento nel sistema di coordinate al momento in considerazione. Poiché si è proceduto a georeferenzare le foto sulla base della Carta Tecnica Regionale vettoriale le cui coordinate di riferimento sono Gauss Boaga anche le coordinate conseguentemente assegnate ai *raster* sono Gauss Boaga. Affinché la georeferenziazione risultasse più precisa e non ci fossero dunque sfalsamenti tra il *raster* e il vettoriale e tra gli stessi *raster* di anni differenti, si è provveduto ad operare il procedimento su più punti di controllo in modo da ridurre l'errore. Questi punti controllo, individuati sulla Carta Tecnica Regionale sono stati gli stessi per i vari fotogrammi dei diversi anni in modo da ottenere la massima correlazione. Per ogni anno considerato sono state georeferenziate diverse riprese fotogrammetriche per un totale di 40 foto. Prima di operare la georeferenziazione le varie riprese sono state portate tutte alla stessa scala cartografica (1 : 10000).

In seguito si è proceduto alla ricostruzione della linea di riva per ogni annata e alla successiva sovrapposizione con una operazione di *overlay mapping* in modo da stimare la tendenza evolutiva della linea di costa. L'intero procedimento è stato eseguito con il software ArcGis.

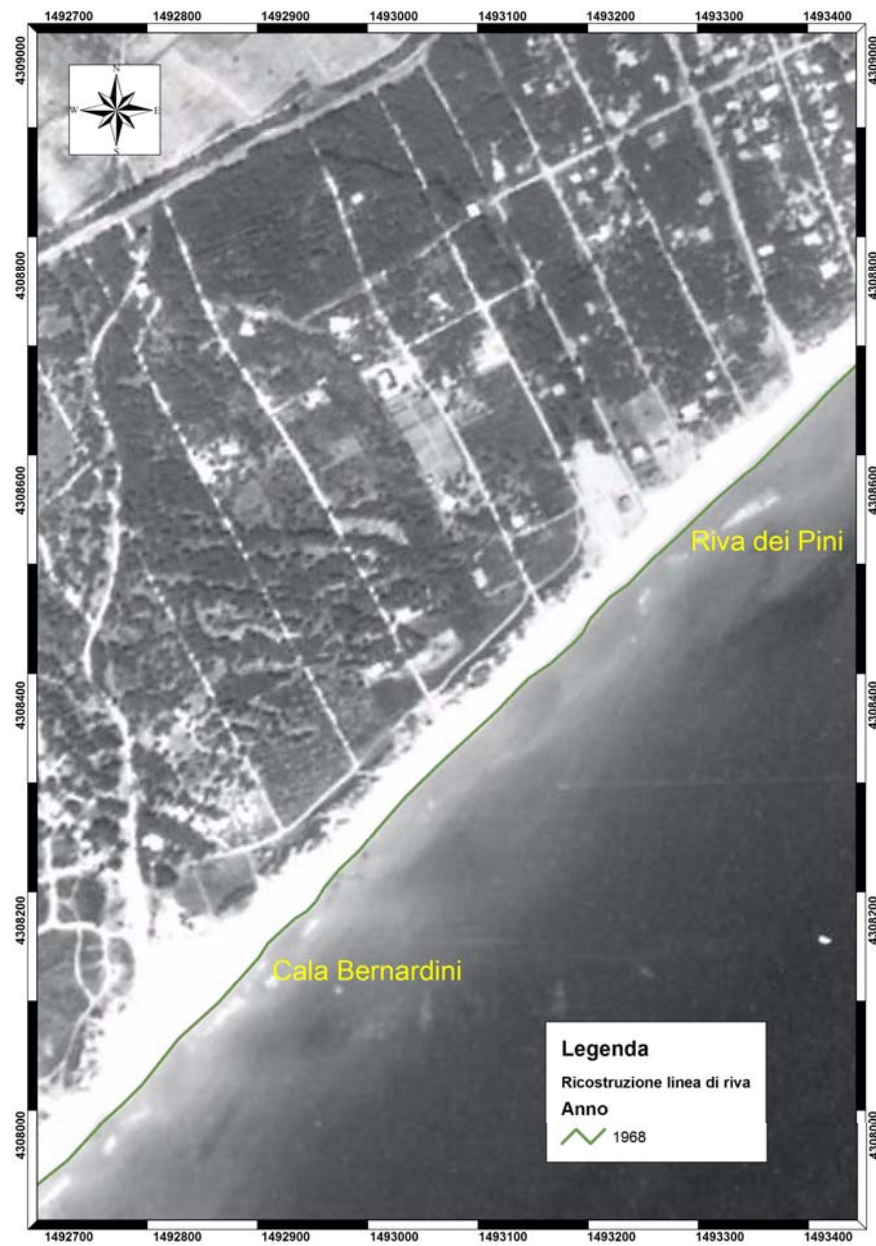


Figura 41. Ricostruzione della linea di costa su foto aerea del 1968 opportunamente georeferenziata.



Figura 42. Ricostruzione della linea di riva su volo costa del 1977 opportunamente georeferenziata.



Figura 43. Ricostruzione della linea di riva su ortofotocarta del 1996 opportunamente georeferenziata.



Figura 44. Ricostruzione della linea di riva su ortofotocarta del 2000 opportunamente georeferenziata.

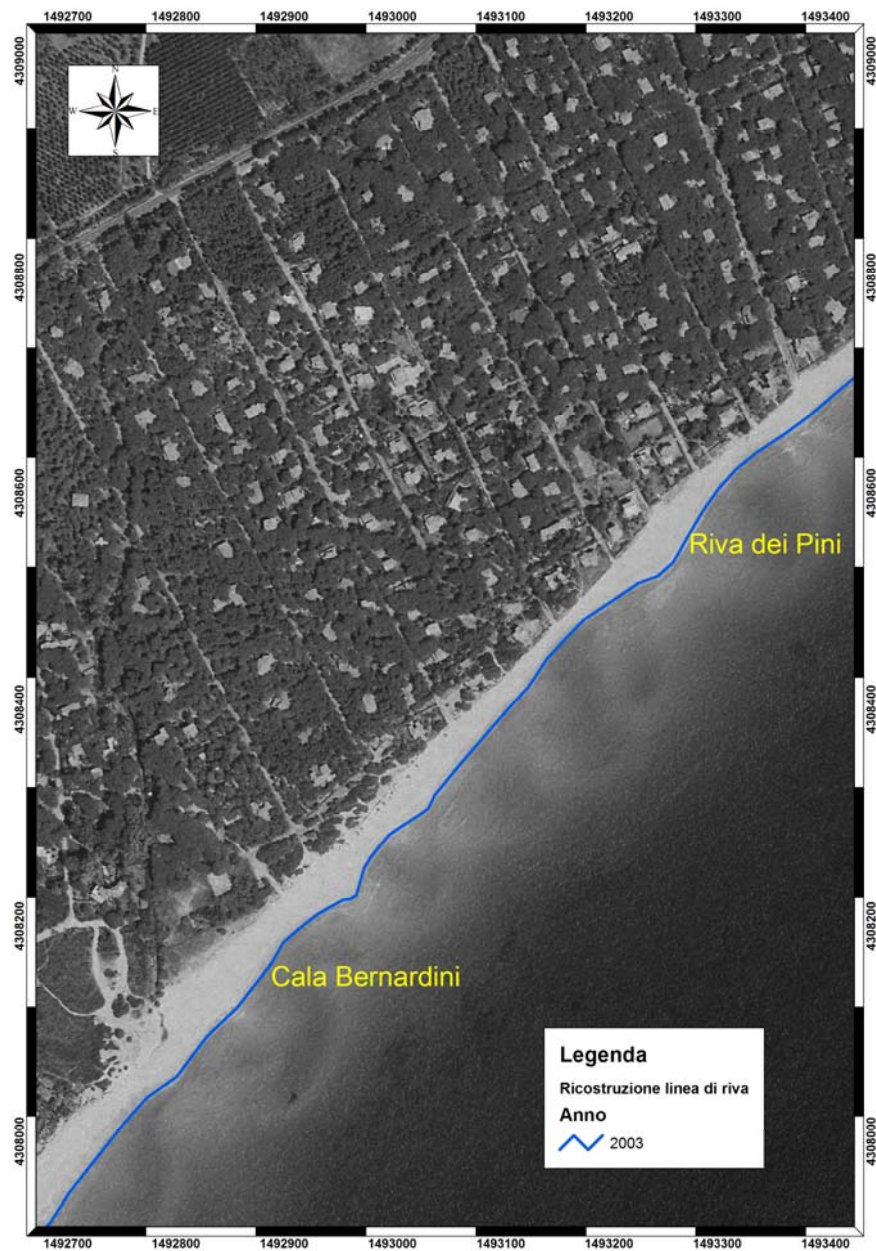


Figura 45. Ricostruzione della linea di riva su ortofotocarta del 2003 opportunamente georeferenziata.



Figura 46. Ricostruzione della linea di riva su ortofotocarta del 2006 opportunamente georeferenziata.

8.2.3 Analisi dei dati elaborati

Successivamente alla fotointerpretazione si è potuto stimare quantitativamente lo stato di evoluzione del litorale negli ultimi 40 anni come riportato in Tabella 23.

Evoluzione della linea di costa	Lunghezza (m)	Percentuale
Arretramento	9084	34,46%
Avanzamento	1414	5,36%
Costruzione opera portuale	2118	8,04%
Stabile	13743	52,14%

Tabella 23. Tabella sull'evoluzione della linea di riva negli ultimi 40 anni stimata mediante la procedura di *overlay mapping* delle diverse linee di riva estrapolate dalle foto aeree storiche.

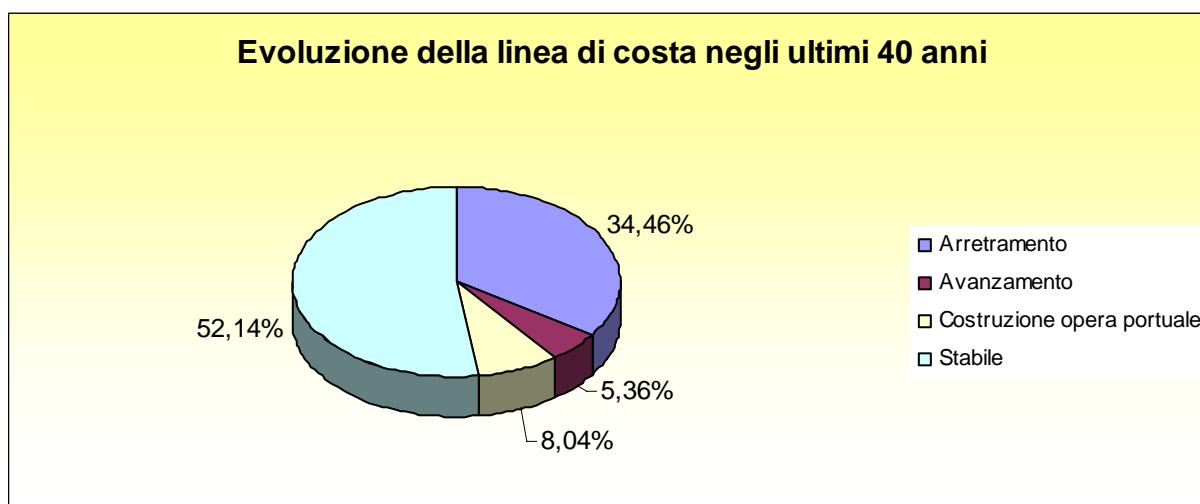


Figura 47. Grafico della distribuzione percentuale dell'evoluzione della linea di costa del litorale studiato con indicazione della % del grado di evoluzione.

Dall'elaborazione dei dati si evince che sui 27 Km di litorale studiato (Figura 47), circa il 30 % ha subito una regressione generalizzata di circa 10 – 20 metri (un esempio di regressione si vede in Figura 48). Si può osservare che negli ultimi 40 anni l'intervento antropico è stato notevole, in particolare sono stati costruiti due porticcioli che sono quello di Cala Verde e di Perd'è Sali.

Se si osserva il trend evolutivo della linea di costa emerge che i tratti costieri rocciosi sono stabili, mentre le singole spiagge presentano un'evoluzione difforme. Di seguito sono riportate le diverse spiagge ed emerge che gran parte di esse presentano trend evolutivi diversi.

Spiaggia	Lunghezza	Dinamica costiera	Percentuale di costa instabile
Approdo di Nora	30	Stabile	10,45%
	257	Arretramento	89,55%
Baia degli Asfodeli - C. Saba	412	Arretramento	85,48%

Spiaggia	Lunghezza	Dinamica costiera	Percentuale di costa instabile
	70	Stabile	14,52%
C. Saba - P.ta D'Agumu	170	Stabile	73,91%
	60	Avanzamento	26,09%
Cala D'Ostia	267	Stabile	72,16%
	103	Arretramento	27,84%
Cala D'Ostia - Foxi e Sali	937	Arretramento	100,00%
Cala Verde	181	Stabile	17,75%
	839	Costruzione opera portuale	82,25%
Forte Village	534	Stabile	34,06%
	1034	Arretramento	65,94%
Foxi e Sali	569	Stabile	41,29%
	709	Arretramento	51,45%
	100	Avanzamento	7,26%
Foxi e Sali - Baia degli Asfodeli	705	Arretramento	100,00%
Is Morus	683	Arretramento	66,57%
	343	Stabile	33,43%
Is Morus - Cala D'Ostia	583	Stabile	36,74%
	1004	Arretramento	63,26%
P.ta Furcadizzo - Porto Perd'è Sali	408	Stabile	23,53%
	1139	Arretramento	65,69%
	187	Avanzamento	10,78%
Perla Marina	470	Stabile	74,37%
	162	Avanzamento	25,63%
Pinus Village	133	Avanzamento	100,00%
Porto D'Agumu	939	Stabile	62,77%
	557	Arretramento	37,23%
Porto Perd'è Sali	1279	Costruzione opera portuale	100,00%
Rada di S. Efisio	406	Stabile	100,00%
Rada di S. Efisio - Su Guventeddu	713	Stabile	67,78%
	339	Arretramento	32,22%
Riva dei Pini	448	Avanzamento	81,45%
	102	Stabile	18,55%
Su Stangioni Foxi Lino - P.ta Furcadizzo	324	Avanzamento	19,87%
	258	Arretramento	15,82%
	1049	Stabile	64,32%

Tabella 24. Tabella sull'evoluzione della linea di riva negli ultimi 40 anni stimata mediante la procedura di overlay mapping sulle diverse spiagge con stima della percentuale di costa instabile per ogni singola spiaggia.

Le spiagge che presentano uno stato di avanzamento sono quelle di Pinus Village e Riva dei Pini , mentre le altre presentano principalmente uno stato erosivo o di equilibrio.



Figura 48. Evidenza dell'arretramento della costa (Foxi e Sali).

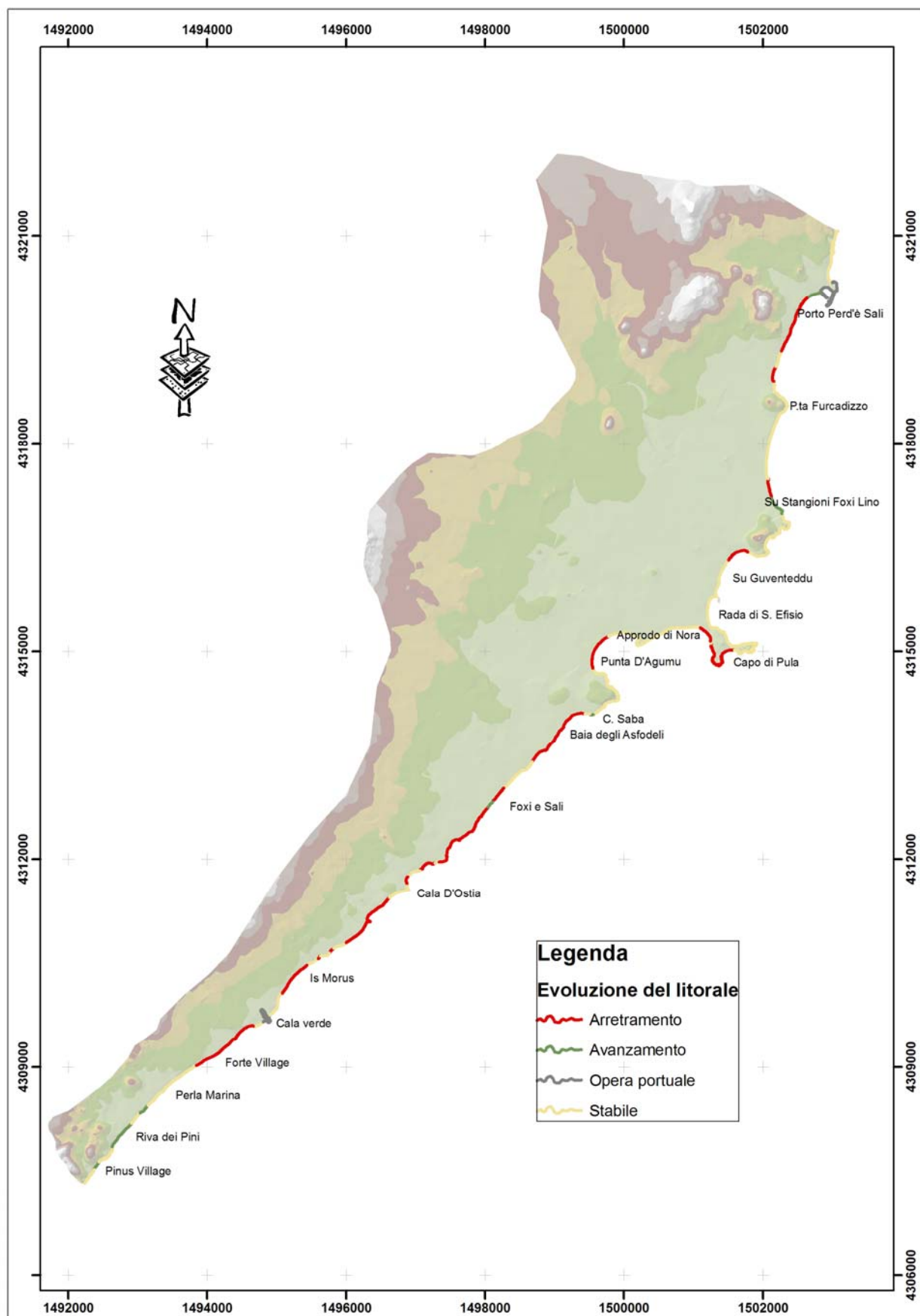


Figura 49. Carta dell'evoluzione del litorale ricavata tramite overlay mapping delle diverse linee di riva relative ai diversi anni.

9 Bilancio sedimentario

L'erosione superficiale del suolo rappresenta un fattore ambientale negativo con conseguenze dannose nei confronti dell'esercizio delle attività umane ed in particolare dell'agricoltura, infatti il continuo assottigliamento dello "strato arabile" nel caso di suoli agricoli o degli "orizzonti superficiali" nel caso di suoli naturali, comporta profonde alterazioni dell'assetto superficiale del suolo ed in particolare fa perdere le principali caratteristiche di fertilità (Gisotti, 2000).

Le modificazioni apportate dai fenomeni erosivi al territorio non solo incidono fortemente sulla qualità dei suoli con ingenti perdite di sostanza nutritiva per lo sviluppo della vegetazione e quindi progressivo impoverimento delle superfici adibite a colture o a coperture vegetazionali naturali, ma anche e spesso determinano condizioni di disordine idrogeologico, agendo sui processi di deflusso delle acque superficiali verso i fondovalle, generando squilibri sul regime idraulico del territorio e causando disagio e condizioni di pericolosità idraulica.

L'erosione accelerata dei suoli rappresenta attualmente una delle principali emergenze ambientali a livello mondiale e la quantificazione del processo erosivo è pratica di fondamentale importanza per supportare la conoscenza per la predisposizione di strategie e priorità rivolte all'uso sostenibile della risorsa suolo e per la scelta degli interventi di difesa del suolo e di protezione idrogeologica.

Sono spesso gli interventi antropici applicati al territorio a determinare condizioni favorevoli per l'erosione accelerata del suolo, infatti la degradazione della copertura vegetale causata da incendi, la sostituzione di aree ricoperte da vegetazione spontanea o boscate con aree coltivate, il sovrapascolamento e le lavorazioni inadeguate, creano una situazione di scarsa protezione superficiale dei suoli generalmente offerta dalla vegetazione.

Invece nell'ottica di uno studio delle dinamiche idrogeologiche che interessano la terraferma e condizionano in misura notevole l'andamento evolutivo della linea di costa la quantificazione dell'erosione ricopre un ruolo di base per la determinazione dei bilanci sedimentari delle aree costiere.

Infatti, nel bilancio sedimentologico delle differenti unità fisiografiche che si possono individuare ai fini dello studio dell'andamento delle linee di riva, un apporto fondamentale è rappresentato dalla portata torbida dei fiumi, ovvero dal carico di materiali che i corsi d'acqua raccolgono lungo il loro percorso e che recapitano al mare (De Bonis, 2001).

In ogni bacino idrografico l'azione degli agenti meteorici e soprattutto quella della pioggia provoca l'asportazione di parte dell'orizzonte superficiale del terreno, la misurazione di tale asportazione viene generalmente effettuata in ton/Kmq anno.

Diverse sono le applicazioni e le metodologie sviluppate per la stima dell'erosione superficiale, comunemente esse si basano sullo studio di alcune caratteristiche ambientali che influenzano i processi erosivi e si distinguono anche per ampiezza territoriale di applicazione e per proiezione temporale.

Secondo l'ampiezza dell'unità idrografica prescelta, tali modelli possono essere distinti in due categorie:

- modelli a scala di versante o di campo;
- modelli a scala di bacino.

Sulla base del periodo di tempo considerato, ambedue le categorie possono ulteriormente essere suddivise in:

- modelli di previsione media annuale;
- modelli di previsione evento per evento.

In tutti i casi il campo di applicazione dei vari modelli risulta definito fra i limiti derivanti dalle osservazioni sperimentali effettuate per la formulazione del modello stesso (Gisotti, 2000)

I fattori caratteristici che contribuiscono all'erosione e quindi alla produzione del sedimento possono essere tanti, ma nella maggior parte dei casi quelli che vengono inseriti e valutati nello sviluppo dei modelli di calcolo sono: l'erodibilità delle rocce e dei suoli, ovvero la propensione dei materiali del suolo ad essere rimossi per azione dell'acqua e del vento, l'uso e la copertura del suolo, la pendenza dei versanti, le caratteristiche climatiche, ma anche i processi geomorfologici e i caratteri morfometrici.

I modelli che utilizzano diversi fattori per la stima dell'erosione sono detti multiparametrici, ma esistono anche modelli basati esclusivamente su fattori climatici o esclusivamente su fattori morfometrici o esclusivamente sulla stima del trasporto solido ed in particolare sulla stima della frazione del trasporto solido in sospensione.

Appare però opportuno sottolineare che il calcolo o la stima della quantità di suolo eroso conducono alla valutazione della produzione lorda di sedimento, ovvero si deve considerare che non tutto il materiale eroso giunge alla sezione di chiusura del bacino idrografico perché parte di essa si deposita in precedenza.

Alcuni autori di modelli previsionali di erosione del suolo propongono questo concetto di sedimentazione attraverso la determinazione di un coefficiente di riduzione che avviene secondo formulazioni matematiche empiriche basate sulla correlazione esistente tra il coefficiente di riduzione e alcune caratteristiche morfometriche del bacino e del reticolo idrografico, l'uso di tali formulazioni consente di ottenere il valore di sedimento al netto della rideposizione interna al bacino.

Nella presente ricerca si è optato per l'uso del modello multiparametrico di Gavrilovic (1972) modificato da Zemljic (Gavrilovic, 1959; Zemljic, 1971; Gavrilovic, 1972) studiato dagli autori per

bacini a carattere torrentizio del Sud Est della Jugoslavia e per il modello basato sulle stime di trasporto torbido correlate a fattori geomorfici del bacino e del reticolo idrografico (Ciccacci et Al, 1980), messo a punto dagli autori prendendo in considerazione 14 bacini idrografici italiani dotati di stazione torbiometrica e mettendo a confronto tra loro i valori del trasporto torbido con i parametri morfometrici prescelti.

Il modello di Gavrilovic modificato da Zemljic è stato scelto perchè sviluppato in ambiente mediterraneo e su bacini di piccole dimensioni a carattere torrentizio.

9.1 Applicazione del modello multiparametrico di Gavrilovic

Il modello di Gavrilovic (Gavrilovic, 1972) è stato applicato per poter stimare l'apporto sedimentario nella spiaggia di Santa Margherita come insieme delle spiagge di Pinus Village, Riva dei Pini, Perla Marina e Forte Village, prodotto dai seguenti bacini idrografici (Figura 50):

- bacino del Rio Su_Barocconi (3,6 Km²);
- bacino del Rio De Passiali (0,78 Km²);
- bacino del Rio Pedroso (4,72 Km²).

In accordo con quanto proposto da Gavrilovic e da Zemljic (Gavrilovic, 1972) la produzione media annua in mc di sedimento si ottiene con la seguente formula analitica:

$$W = T * h * F * Z^{3/2}$$

Dove:

W è la perdita di suolo media annua in mc

T è il coefficiente di temperatura e risulta $T = [(t'/10) + 0.1]^{1/2}$ con t' temperatura annuale media h è la precipitazione annuale media in mm

F è la superficie del bacino in Km²

Z è il coefficiente di erosione relativa determinabile con la seguente espressione analitica $Z = X * Y * (G + Im^{1/2})$ Dove:

X è un fattore di protezione del suolo

Y è un fattore geolitologico di erodibilità del suolo

G è un fattore che esprime i processi geomorfologici erosivi e la loro intensità

Im è la pendenza media del bacino

Il valore di protezione X deve essere valutato per ogni sub-area bacinale per ottenere un valore medio ponderato sull'area totale del bacino.

L'attribuzione dei valori ai coefficienti X,Y e G avviene per mezzo di tabelle proposte dagli autori (Zemljic 1971) e sulla base di stime delle superfici in funzione dei fattori uso del suolo e/o copertura vegetale, geologia, processi geomorfologici.

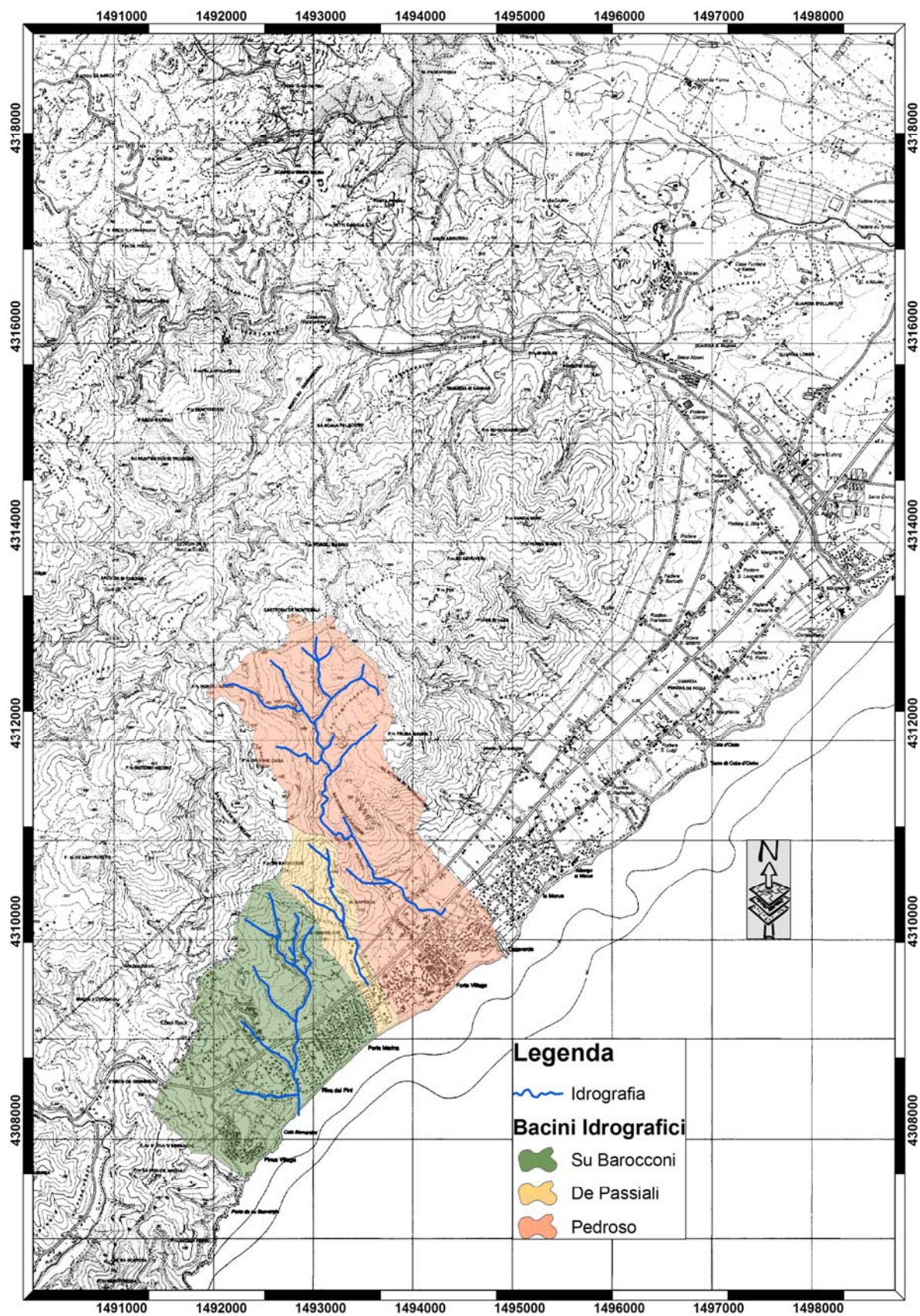


Figura 50. Inquadramento dei bacini idrografici presi in esame per il calcolo della produzione media annua di sedimento secondo il modello multiparametrico di Gavrilovich.

Valori del fattore di erodibilità del suolo Y (da Zempljic, 1971)	
Tipo di roccia - sottosuolo	Valore di Y
Rocce dure, resistenti all'erosione	0.2 – 0.6
Rocce semiresistenti all'erosione	0.6 – 1.0
Rocce friabili, stabilizzate (detriti di falda, scisti, argille compatte, ecc.)	1.0 – 1.3
Sedimenti, morene, argille e altre rocce poco resistenti	1.3 – 1.8
Sedimenti fini e terre, non resistenti all'erosione	1.8 – 2.0

Tabella 25. Tabella dei valori del coefficiente Y o fattore geolitologico di erodibilità del suolo con descrizione dei tipi litologici e associazione di un intervallo di valori secondo quanto proposto da Zempljic, 1971.

Valori del fattore esprime i processi geomorfologici e la loro intensità G (da Zempljic, 1971)	
Tipo e grado di erosione del bacino	Valore di G
Erosione debole del bacino	0.1 – 0.2
Erosione laminare sul 20 - 50% del bacino	0.3 – 0.5
Erosione laminare, detriti di falda e depositi incisi, erosione carsica	0.6 – 0.7
50 – 80% del bacino eroso per erosione lineare e per franamenti	0.8 – 0.9
Bacino interamente eroso per erosione lineare e per franamenti	1.0

Tabella 26. Tabella dei valori del coefficiente G o fattore esprime i processi geomorfologici con descrizione del tipo di processo ed estensione percentuale sul totale del bacino e associazione di un intervallo di valori secondo quanto proposto da Zempljic, 1971.

Valori del fattore di protezione del suolo X (da Zempljic, 1971)	
Bacino idrografico prima degli interventi contro l'erosione	Valore di X
Terreno completamente denudato, non coltivabile	1.00
Campi lavorati secondo la linea di massima pendenza	0.90
Frutteti e vigneti senza vegetazione al suolo	0.70
Pascoli, boschi degradati e boscaglie con suolo eroso	0.60
Prati, campi di trifoglio e di altre colture simili	0.40
Boschi o boscaglie densi e di buona "struttura"	0.05

Tabella 27. Tabella dei valori del coefficiente X o fattore di protezione del suolo con descrizione del tipo di copertura e uso del suolo precedenti agli interventi contro l'erosione e associazione dei valori secondo quanto proposto da Zempljic, 1971.

Valori del fattore di protezione del suolo X (da Zemljic, 1971)	
Bacino idrografico dopo gli interventi contro l'erosione	Valore di X
Sistemazione degli alvei, dighe, correzione dei torrenti	0.70
Campi lavorati secondo le curve di livello	0.63
Campi ben coltivati, fertilizzati con materia organica (mulch)	0.54
Campi coltivati a strisce (strip-cropping) e a rotazione	0.45
Campi con terrazzamenti o gradoni	0.36
Frutteti e vigneti lavorati secondo le curve di livello	0.32
Inerbimento di terreni denudati, miglioramento di pascoli e di prati	0.30
Canali di rallentamento del deflusso, piccoli bacini di raccolta d'acqua	0.27
Rete di canali che seguono le curve di livello, di densità media	0.24
Rimboschimento con gradoni	0.10

Tabella 28. Tabella dei valori del coefficiente X o fattore di protezione del suolo con descrizione del tipo di copertura e uso del suolo successivi agli interventi contro l'erosione e associazione dei valori secondo quanto proposto da Zemljic, 1971.

Nella presente ricerca l'applicazione del modello di Gavrilovic è stata specificatamente adattata alla realtà dei bacini idrografici sopraccitati.

Per la valutazione del valore dei fattori X_i , con i che varia tra 1 e n superfici caratterizzate da una tipologia di uso o copertura del suolo, è stato implementato il *dataset* dell'uso e della copertura del suolo in modo da ricoprire la superficie di ciascun bacino idrografico e successivamente reinterpretato in termini di protezione superficiale e/o predisposizione dei territori all'erosione; i valori associati ad ogni superficie caratterizzata da un particolare uso o copertura del suolo, sono stati rivalutati secondo un valore medio pesato sulla superficie totale di ciascun bacino per ottenere il valore di X associato ad ogni singolo bacino.

La parametrizzazione del valore dei fattori Y_j , con j che varia tra 1 e n superfici caratterizzate da un substrato litologico, è stata condotta attraverso l'implementazione del *dataset* della geologia dei substrati in modo da ricoprire la superficie di ciascun bacino idrografico e successivamente reinterpretato associando dei valori ad ogni superficie caratterizzata da un particolare substrato geologico, in seguito rivalutati secondo un valore medio pesato per ottenere il valore di Y associato a ciascun bacino.

Per la valutazione del fattore G si è proceduto in prima analisi alla mappatura, per aerofotointerpretazione e rilievo in campo, delle superfici interessate da diverse forme e processi geomorfologici erosivi di vario grado e quindi alla redazione, per ciascun bacino, di un nuovo *dataset*, con topologia poligonale, da inserire nel *database*; successivamente si è proceduto alla attribuzione dei valori G_k , con k che varia tra 1 e s superfici distinte secondo la mappatura e

caratterizzate da un particolare processo geomorfologico erosivo. I valori sono stati rivalutati secondo un valore medio pesato sulla superficie totale di ciascun bacino per ottenere il valore di G associato al bacino intero.

Attraverso un processo di analisi spaziale condotto sul *raster* delle pendenze è stato colcaloto il valore $Im^{1/2}$.

Il valore della temperatura media annua t' utilizzato per il calcolo del fattore T deriva dall'analisi statistica condotta sui dati delle termometrie medie annuali relative alla stazione meteorologica di Domusdemaria ed è $t' = 17^\circ$.

Analogamente il valore della precipitazione media annua h utilizzato nel calcolo della formula di Gavrilovic deriva dall'interpolazione e dall'analisi statistica condotta sui dati delle altezze di pioggia medie annuali registrate nella stazione meteorologica di Domusdemaria ed è $h = 731$ mm.

Di seguito vengono riportate le tabelle in cui sono riassunti i valori associati ai coefficienti X, Y e G derivanti dai *datasets* dell'uso e della copertura del suolo e della geologia delle aree interessate da forme e processi geomorfologici erosivi. I valori riportati nelle tabelle derivano dalla osservazione delle tabelle proposte da Zemljic (1971) e sono stati adattati alla realtà locale anche in funzione della scala di dettaglio con cui è stato redatto il dataset.

Infatti, per quanto riguarda il *dataset* dell'uso e della copertura del suolo si deve osservare che numerose classi di legenda non sono citate nelle tabelle del Zemljic e pertanto i valori sono stati adattati operando una scelta ponderata sulla base delle indicazioni del PAI e delle conoscenze maturate nel settore e sulla base di dirette osservazioni in campo.

Valori del fattore esprime i processi geomorfologici e la loro intensità erosiva G	
Processi erosivi caratterizzanti le singole aree cartografate	Valore di G
Processi di erosione costiera ed eolica	0.1
Processi di erosione areale debole	0.2
Processi di erosione areale intensa	0.5
Processi di erosione areale intensa e formazione di rivoli	0.6
Processi di erosione lineare da deflusso in talweg, di erosione di sponda e di incisione di canali	0.7

Tabella 29. Tabella dei valori del coefficiente G o fattore esprime i processi geomorfologici con descrizione.

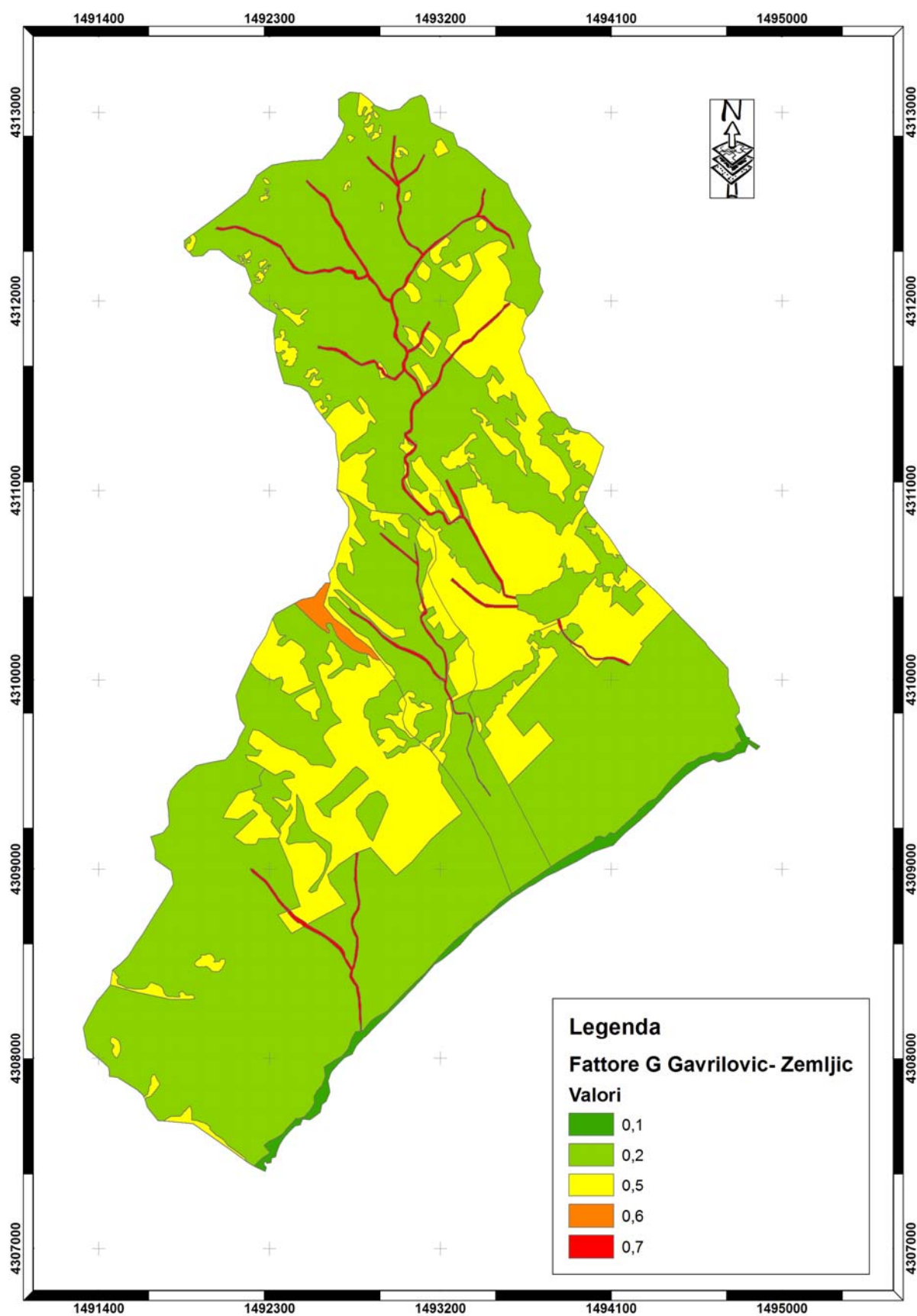


Figura 51. Carta del fattore dei processi erosivi del suolo secondo Gavrilovic- Zemljic, derivata da aerofotointerpretazione e rilievi in campo.

Valori del fattore di protezione del suolo X		
Bacino idrografico prima degli interventi contro l'erosione		
CODICE UDS	Voci di legenda	Valore di X
11211	Residenze estive organizzate in villaggi turistico-residenziali	0,1
1122	Tessuto agroresidenziale sparso e fabbricati rurali	0,5
11212	Residenze estive raggruppate ma non organizzate in villaggi	0,25
12121	Grandi impianti di smaltimento rifiuti e depurazione acque	0
1213	Strutture turistico-ricettive (alberghi, ristoranti, etc.)	0,15
1221	Reti stradali e spazi accessori	0
1224	Impianti a servizio delle reti di distribuzione (telecomunicazioni, energia ed idriche)	0
1232	Porticcioli da diporto	0
1322	Depositi di rottami a cielo aperto	0,7
1331	Spazi in costruzione	1
1332	Fasce parafulco	1
1411	Aree verdi urbane ed extraurbane	0,6
1412	Spazi verdi non urbani, fasce frangivento	0,85
14212	Campi sportivi (calcio, atletica, tennis, golf)	0
2111	Seminativi in aree non irrigue	0,9
2112	Prati artificiali	0,95
2124	Colture in serra	0,1
221	Vigneti	0,7
222	Frutteti e frutti minori	0,7
223	Oliveti	0,7
3222	Formazioni di ripa	0,1
32311	Macchia bassa	0,65
32312	Macchia alta	0,1

3232	Gariga	0,65
3241	Aree a ricolonizzazione naturale (incolti)	0,9
3242	Aree a ricolonizzazione artificiale	0,65
3311	Spiagge di ampiezza superiore a 25 metri	1
3313	Aree dunali con copertura vegetale di ampiezza superiore a 25 metri	1
3321	Affioramenti rocciosi con specie tipiche della gariga	0,95
3322	Zone costiere caratterizzate da vegetazione rupicola	0,95
51221	Laghetti collinari	0,27
51222	Vasconi e canali per l'approvvigionamento dei campi	0,27

Tabella 30. Tabella dei valori del coefficiente X o fattore di protezione del suolo con descrizione del tipo di copertura e uso del suolo, associazione del codice CORINE land cover e associazione dei valori.

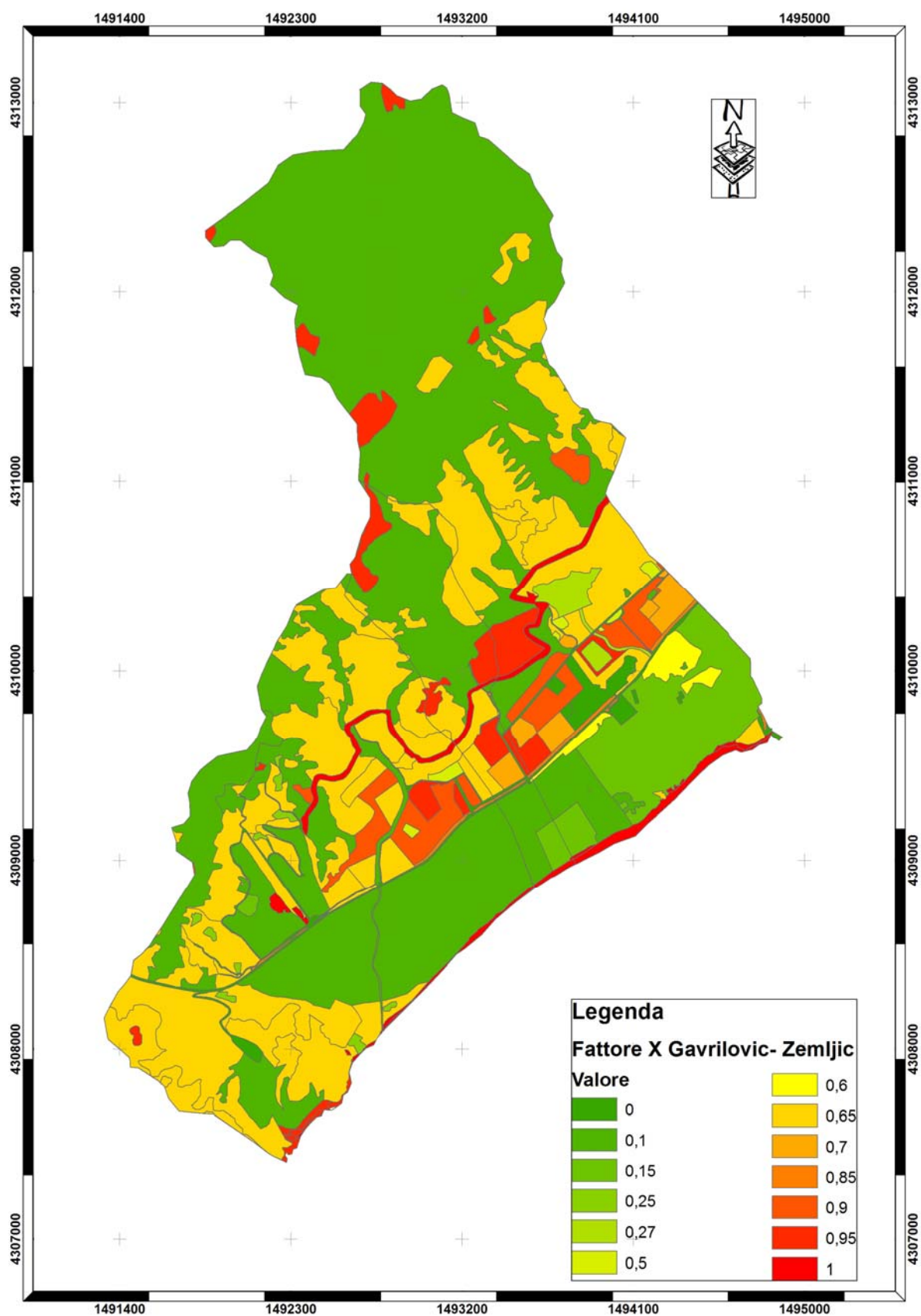


Figura 52. Carta del fattore di protezione del suolo secondo Gavrilovic Zemljic derivata dalla reinterpretazione della carta dell'uso del suolo.

Valori del fattore di erodibilità del suolo Y	
Tipo di roccia - sottosuolo	Valore di Y
Descrizione della litologia (legenda)	
Sabbie dei litorali da medio-grosse a ghiaiose, sino a ghiaie. Olocene Sa	2.00
Sabbie delle dune costiere. Olocene Eol.2	2.00
Alluvioni recenti ciottolose o ciottoloso-sabbiose, prevalentemente sciolte, a elementi più o meno grossolani a diverso grado di elaborazione. Olocene Al 4	1,95
Depositi alluvionali poligenici e policiclici ben cementati con elementi poco elaborati in matrice argillo-sabbiosa, fortemente ferrettizzata. Pleistocene Al 2	1,90
Depositi alluvionali terrazzati, ghiaiosi ed argilloso-sabbiosi, con elementi mediamente elaborati, generalmente ben cementati con matrice argilloso-sabbiosa. Pleistocene Al 1	1,80
Formazione del Cixerri, depositi clastici continentali di piana alluvionale, costituiti da arenarie quarzoso-feldspatiche a grana medio grossa, stratificate e ben cementate, con intercalazioni di conglomerati poligenici argillose marnoso siltose Eocene medio – Oligocene inf? Cix	1,50
Prevalenti leucosienograniti di colore rosato, con biotite, in genere a grana equigranulare grossa; localmente più o meno alterate. Carbonifero sup. – Permiano G	0,40

Tabella 31. Tabella dei valori del coefficiente Y o fattore geolitologico di erodibilità del suolo con descrizione del tipo di roccia – sottosuolo in funzione della legenda del dataset della geologia e associazione dei valori.

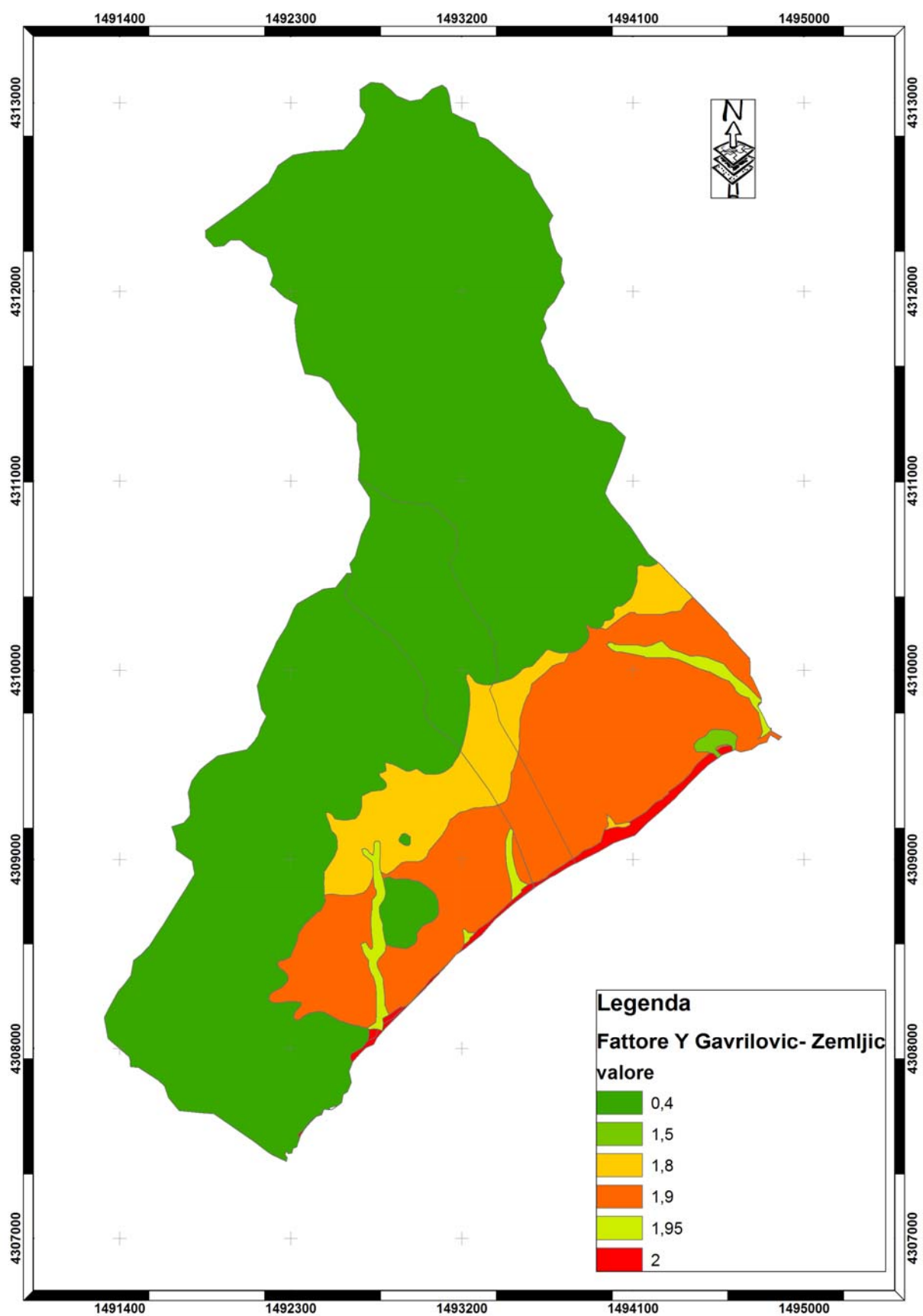


Figura 53. Carta del fattore geolitologico di erodibilità del suolo secondo Gavrilovic-Zemljic, derivata dalla reinterpretazione del dataset della geologia.

Sulla base dei valori riportati nelle tabelle e attraverso le procedure precedentemente descritte, sono stati calcolati per ciascun bacino i fattori X, Y e G per la determinazione del coefficiente di erosione relativa Z, secondo quanto riportato nella formulazione di Gavrilovic.

Dai calcoli effettuati risulta che:

Fattore	Bacini idrografici		
	Rio Su Barocconi	De Passiali	Rio Pedroso
G	0,15	0,18	0,21
X	0,42	0,38	0,30
Y	0,83	0,83	0,80
Im (%)	23	37,6	30,5
Z	0,22	0,25	0,18
F (Kmq)	3,6	0,78	4,72
W (mc)	1139,40	300,67	1136,90

Tabella 32. Tabella riassuntiva dei valori dei coefficienti relativi a ciascun bacino e della produzione media annua di sedimento (W) di ciascun bacino idrografico.

Nel bacino del Rio Pedroso è presente un corpo di diga di 50157 mq, si è perciò voluto calcolare la quantità media annua di sedimenti prodotti nella sezione di bacino a monte della diga (Figura 54). Per poter eseguire questa operazione è stato delimitato un nuovo bacino la cui sezione di chiusura risulta essere la diga. Anche per questo bacino, sulla base dei valori riportati nelle tabelle e attraverso le procedure precedentemente descritte, sono stati calcolati per ciascun bacino i fattori X, Y e G per la determinazione del coefficiente di erosione relativa Z per poi calcolare la quantità media annua (W) di sedimento prodotto come riportato in tabella:

Fattore	Bacino Rio Pedroso a monte della Diga
G	0,28
X	0,23
Y	0,4
Im (%)	37,8
Z	0,08
F (Kmq)	2,8
W (mc)	202,13

Tabella 33. Tabella riassuntiva dei valori dei coefficienti e della produzione media annua di sedimento (W) relativi alla porzione del bacino del Rio Pedroso con sezione di chiusura sulla diga.

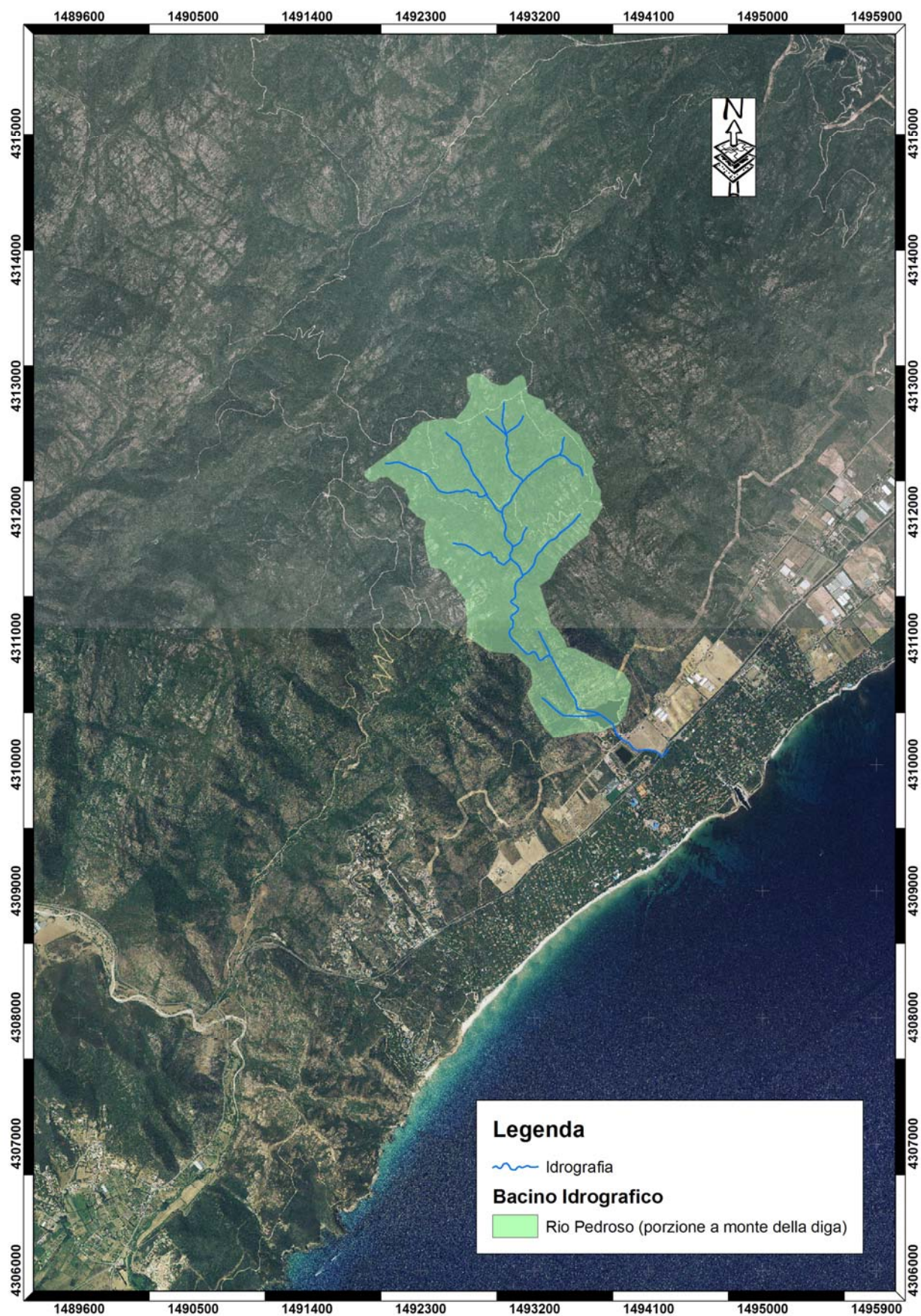


Figura 54. Porzione del bacino del Rio Pedroso a monte della diga.

Si può quindi affermare che la quantità di sedimento medio annua prodotta dal bacino del Rio Pedroso che arriva sulla spiaggia di Santa Margherita è pari alla differenza del quantitativo di sedimento prodotto sul totale del bacino (W1) e quello prodotto considerando la chiusura del bacino nella diga (W2):

$$W1 - W2 = 1136,90 - 202,13 = 934,77 \text{ mc.}$$

E pertanto la quantità totale media annua di sedimenti prodotti all'interno dei tre bacini risulta essere pari a 2374,85 mc.

Ovviamente la quantità di sedimento stimata è una quantità lorda, ovvero non tutta la quantità W calcolata in mc è quella che giunge alla sezione di chiusura dei ciascun bacino idrografico, infatti una certa quantità di sedimenti erosi e trasportati vengono depositati prima di giungere alla sezione di chiusura considerata.

La valutazione della produzione media annua di sedimenti nei bacini considerati è importante in quanto gli apporti fluviali costituiscono la voce attiva generalmente più importante nei bilanci sedimentari di tratti di costa estesi. La frazione più grossolana (sabbie e ciottoli) si deposita nell'area deltizia ed alimenta il trasporto litoranei. La frazione fine (limi e argille) si deposita in genere sulla piattaforma continentale e, pur essendo in genere la frazione più ponderante nel totale dei sedimenti trasportati, ha effetto sulla spiaggia di non grande importanza e soprattutto molto ritardato e dilazionato nel tempo.

10 Rischio costiero

10.1 Rischio ambientale

Il concetto di rischio ambientale è strettamente legato a quelli di pericolosità ambientale e di vulnerabilità ambientale, di cui si danno di seguito le definizioni.

Per pericolosità ambientale si intende la possibilità che un certo fenomeno (naturale o indotto dall'antropizzazione) si verifichi in un certo territorio, in un determinato intervallo di tempo.

La vulnerabilità territoriale viene definita dall'UNESCO come l'entità del danno inferto a un elemento o gruppo di elementi a rischio dal manifestarsi di un fenomeno naturale di una data dimensione. Nel caso oggetto di studio gli elementi a rischio sono i litorali stessi i quali costituiscono un patrimonio ambientale inestimabile per la comunità intera, e il fenomeno naturale che potrebbe arrecare un danno alle coste è il degrado dato dall'erosione o dall'eccessiva pressione antropica.

Infine, il rischio ambientale è la probabilità che le conseguenze economiche e sociali di un certo fenomeno di pericolosità superino una determinata soglia: ciò, in altre parole, individua nel rischio il prodotto della pericolosità ambientale per la vulnerabilità di un territorio.

10.2 Metodologia di analisi del rischio costiero – Progetto EUROSION

Il rischio da erosione costiera di una particolare località si può definire come il risultato della probabilità (frequenza) di eventi di tipo erosivo e degli impatti (investimento di capitale o presenza di popolazione nella zona a rischio.)

La metodologia utilizzata per la quantificazione del rischio costiero nel territorio dell'area di studio si basa sull'elaborazione di indicatori utilizzati nell'ambito del progetto EUROSION.

Il progetto EUROSION è stato finanziato dalla Commissione Europea con la finalità di studiare e quantificare l'erosione costiera in Europa.

I risultati dello studio eseguito sono stati pubblicati nel 2004 e hanno permesso di ottenere, tra gli altri risultati, una valutazione cartografica della vulnerabilità al rischio di erosione costiera, basata su dati spaziali e analisi GIS (Commissione Europea, 2004).

La metodologia utilizzata nell'ambito del progetto EUROSION si basa sulla definizione di indicatori di stato e pressione e di indicatori di impatto da quantificare all'interno di un tratto di costa identificato dall'area che si ritiene soggetta all'erosione.

Il primo passo nell'applicazione della metodologia di valutazione del rischio consiste nella delimitazione di tale area, denominata RICE (*Radium of Influence of Coastal Erosion*) e intesa come l'area potenzialmente soggetta a fenomeni di erosione e di inondazione nei prossimi 100 anni.

La delimitazione dell'area di RICE è effettuata considerando il luogo dei punti che soddisfano almeno una delle seguenti condizioni:

- distanza minore di 500 m dalla costa;
- altitudine minore di 5 m s.l.m..

All'interno dell'area di RICE, il rischio costiero è stato definito dalla seguente relazione:

$$RC = ISC * IVC$$

dove RC è il rischio costiero, ISC l'indice di sensitività costiera e IVC l'indice di vulnerabilità costiera.

I valori di ISC e IVC sono stati ottenuti grazie alle elaborazioni geografiche e alle funzionalità di analisi spaziale che hanno permesso di processare i dati di input e di adattare i diversi *datasets* al modello fisico dei dati progettato per lo sviluppo dell'applicazione.

A seguito dell'analisi spaziale e dell'estrazione di dati numerici, l'applicazione è proceduta attraverso elaborazioni di calcolo su fogli elettronici per la valutazione quantitativa dei *datasets* ambientali di input, successivamente, per mezzo della compilazione di tabelle di attributi, si è proceduto con l'associazione dei parametri ottenuti alle entità spaziali dei *datasets* di input stessi ed infine alla rappresentazione dei risultati su mappe di sintesi, con le quali viene rappresentato il rischio di erosione in funzione della pericolosità e vulnerabilità considerate.

10.2.1 Indice di sensitività costiera ISC

L'indice ISC misura la predisposizione delle coste ad essere sede di erosione e/o di inondazione e si calcola sommando i punteggi attribuiti a diversi indicatori definiti come segue:

$$ISC = SLR + TEV + HWL + GEC + A_{RICE} + ODC$$

Dove:

SLR è la velocità media di innalzamento del livello del mare, misurata in mm/anno, a cui si attribuisce un punteggio variabile da 0 a 2 punti:

- SLR=0 punti per velocità < 0 mm/anno;
- SLR=1 punto per velocità comprese tra 0 e 4 mm/anno;
- SLR=2 punti per velocità maggiori di 4 mm/anno.

TEV è il trend evolutivo della linea di costa e si calcola in funzione della percentuale di linea di costa in erosione o in avanzamento:

- TEV=0 punti per una percentuale di costa instabile minore del 20%;
- TEV=1 punto per una percentuale di costa instabile compresa tra 20% e 60%;
- TEV=2 punti per una percentuale di costa instabile maggiore del 60%.

HWL è il livello massimo dell'acqua ed è un indicatore che viene definito da tre diversi fattori, ovvero il regime di marea, l'innalzamento del livello del mare in funzione della variazione della pressione atmosferica e il wind setup causato dal soffiare del vento verso costa. Il suo punteggio è attribuito nel seguente modo:

- HWL=0 punti per un livello massimo minore di 1,5 m s.l.m;
- HWL=1 punto per un livello massimo di 1,5-3,0 m s.l.m;
- HWL=2 punti per un livello massimo maggiore di 3,0 m s.l.m.

GEC si riferisce alla conformazione geologica della fascia costiera ed è funzione del suo potenziale di erodibilità:

- GEC=0 punti per una percentuale di costa non erodibile maggiore del 70%;
- GEC=1 punto per una percentuale di costa non erodibile di 40-70%;
- GEC=2 punti per una percentuale di costa non erodibile minore del 40%.

A_{RICE} è denominato Altezza dell'area costiera e si calcola in funzione della percentuale di area suscettibile all'inondazione marina all'interno dell'area di RICE:

- A_{RICE}=0 punti per una percentuale di Altezza dell'area costiera minore del 5%;
- A_{RICE}=1 punto per una percentuale di Altezza dell'area costiera di 5-10%;
- A_{RICE}=2 punti per una percentuale di Altezza dell'area costiera maggiore del 10 %.

ODC è rappresentativo della presenza di opere di difesa costiera e si calcola in funzione della percentuale di esse rispetto al totale:

- ODC=0 punti per una percentuale di costa ingegnerizzata minore del 5%;
- ODC=1 punto per una percentuale di costa ingegnerizzata di 5-35%;
- ODC=2 punti per una percentuale di costa ingegnerizzata maggiore del 35%.

L'indice di sensibilità costiera, calcolato come somma dei punteggi attribuiti agli indicatori sopra definiti, varia da un minimo di 0 a un massimo di 12 punti

10.2.2 Indice di vulnerabilità costiera IVC

L'indice IVC misura il potenziale impatto dell'erosione e dei fenomeni di inondazione marina nell'area costiera e si calcola sommando i punteggi attribuiti ai diversi indicatori definiti come segue:

$$IVC = P_{RICE} + U_{RICE} + E_{RICE} + U_{10km}$$

Dove:

P_{RICE} è la popolazione residente all'interno dell'area RICE ed è a sua volta definita dalla relazione seguente:

$$P_{RICE} = D_U * A_{U\ RICE} + D_A * A_{A\ RICE} + D_N * A_{N\ RICE}$$

Dove D_U , D_A e D_N sono le densità di abitanti rispettivamente in aree urbanizzate, agricole e naturali, mentre $A_{U\ RICE}$, $A_{A\ RICE}$ e $A_{N\ RICE}$ sono le aree rispettivamente urbanizzate, agricole e naturali contenute nel RICE.

I punteggi dell'indicatore P_{RICE} sono assegnati in funzione dell'estensione del tratto di costa in esame.

U_{RICE} è la percentuale di area urbanizzata e/o industrializzata nel periodo 1990-2000 nell'area RICE, rispetto al totale della superficie interna al RICE stesso. I punteggi assegnati sono i seguenti:

- $U_{RICE}=0$ punti per una percentuale di area urbanizzata minore del 10%;
- $U_{RICE}=1$ punto per una percentuale di area urbanizzata di 10 - 40%;
- $U_{RICE}=2$ punti per una percentuale di area urbanizzata maggiore del 40%.

E_{RICE} rappresenta la percentuale di area ad alto valore ecologico nell'area RICE rispetto al totale e si calcola nel seguente modo:

- $E_{RICE}=0$ punti per un potenziale di area ad alto potenziale ecologico minore del 5%;
- $E_{RICE}=1$ punto per un potenziale di area ad alto potenziale ecologico del 5-30%;
- $E_{RICE}=2$ punti per un potenziale di area ad alto potenziale ecologico maggiore del 30%.

U_{10km} rappresenta la percentuale di incremento di area urbanizzata nella fascia costiera di 10 km nel periodo 1999 – 2000, il cui punteggio si calcola nel seguente modo:

- $U_{10km}=0$ punti per una percentuale di incremento minore del 5%;
- $U_{10km}=1$ punto per una percentuale di incremento del 5 - 10%;
- $U_{10km}=2$ punti per una percentuale di incremento maggiore del 10%.

L'indice di vulnerabilità costiera, calcolato come somma degli indicatori sopra definiti, può variare da un minimo di 0 ad un massimo di 8.

Il valore del rischio calcolato può essere compreso tra 0 e 96 e vengono definiti i seguenti range per classificare l'entità di esposizione della costa al rischio di erosione:

- Bassa(0-20 punti);
- Media(20-40 punti);
- Alta(40-60 punti);

- Molto alta(60-96).

10.3 Determinazione degli indicatori

Nella valutazione del rischio ambientale dell'area esaminata in questo studio, si è cercato di operare in maniera organica, suddividendo tutta l'area di RICE in più sottoaree a caratteristiche omogenee. L'area di RICE è stata determinata considerando la fascia di 500 metri parallela alla costa (Figura 55).

Gli indicatori utili per l'analisi del rischio sono stati valutati per i seguenti tratti costieri, oltre che per l'intera costa in studio:

- Area 1, compresa tra Pinus Village e Cala Bernardini;
- Area 2, compresa tra Cala Bernardini e Forte Village;
- Area 3, compresa tra Forte Village e il porticciolo di Cala Verde;
- Area 4, compresa tra il suddetto porticciolo e l'albergo Is Morus;
- Area 5, dall'albergo Is Morus fino alla Torre di Cala d'Ostia;

Per ogni tratto costiero è stata determinata un'area RICE corrispondente.

Nella determinazione degli indicatori per il calcolo degli indici di sensitività e vulnerabilità costiera si è fatto riferimento in parte a dati di letteratura presenti per l'area in esame, in parte a dati disponibili nel progetto EUROSION e in parte ad analisi spaziali effettuate sui *dataset* precedentemente descritti.

Di seguito si elencano i vari indicatori, descrivendo per ciascuno la metodologia di calcolo o la fonte da cui sono derivati.

SLR è la velocità media di innalzamento del livello del mare, misurata in mm/anno, per la cui determinazione si è fatto riferimento al *database* messo a punto nel progetto EUROSION, che comprende il rilievo dell'indicatore in 237 punti complessivi, posti tra i 50 ed i 100 km dalla costa, che forniscono i valori dell'ampiezza del regime di marea ed i parametri del vento (direzione ed intensità). Per l'Italia i punti di misura sono 46 e si è rilevato per tutti i punti un innalzamento compreso tra 0 e 4 mm/anno.

TEV, il trend evolutivo della linea di costa, è stato determinato per ogni tratto costiero considerato attraverso un'analisi storica così come descritto nel paragrafo 8.2.3.

HWL, il livello massimo dell'acqua, per la cui valutazione si è fatto riferimento ai dati disponibili dal progetto EUROSION, che fornisce per l'area in esame valori inferiori a 1,5 m s.l.m.

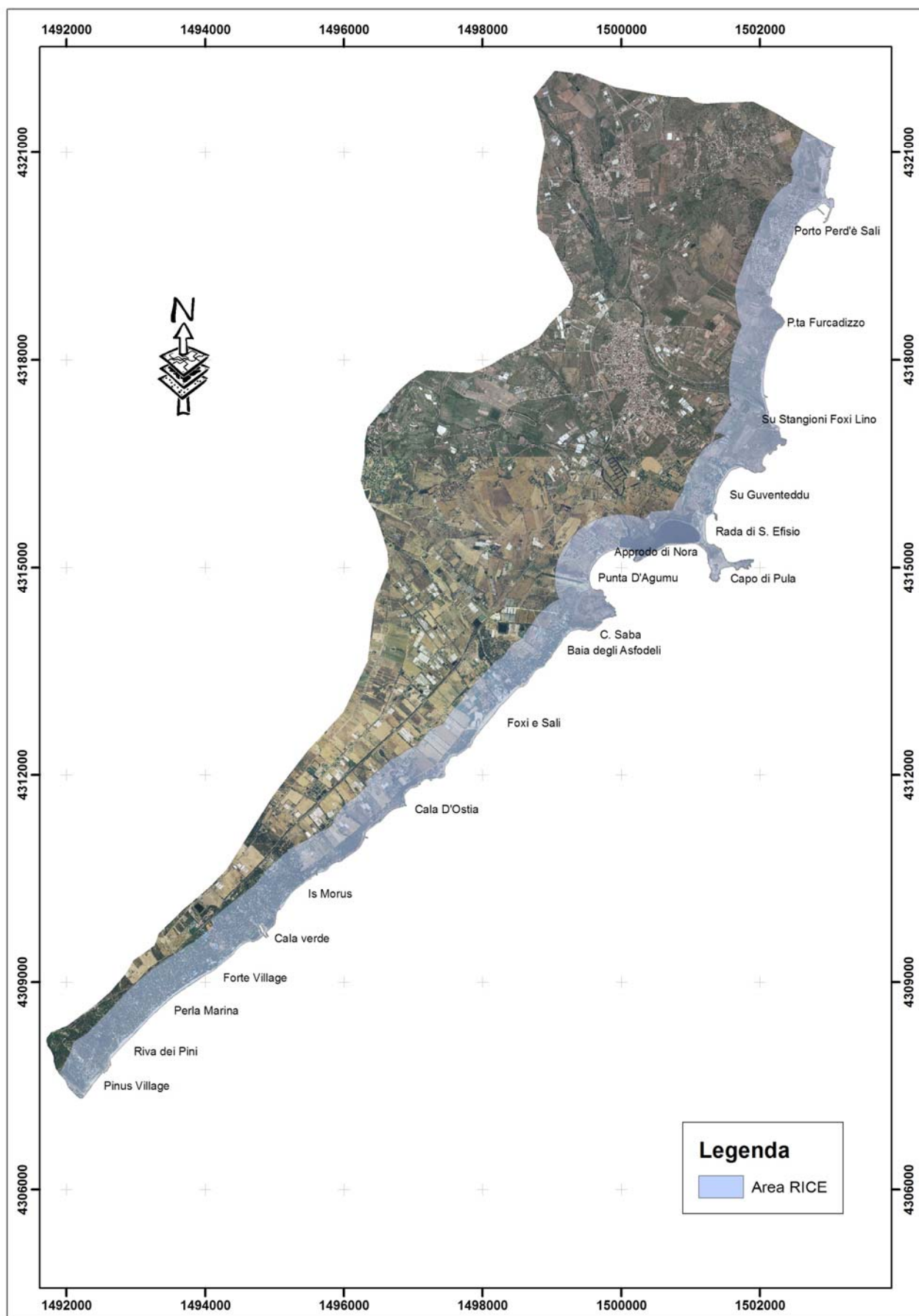


Figura 55. Delimitazione dell'area RICE per la valutazione del rischio costiero.

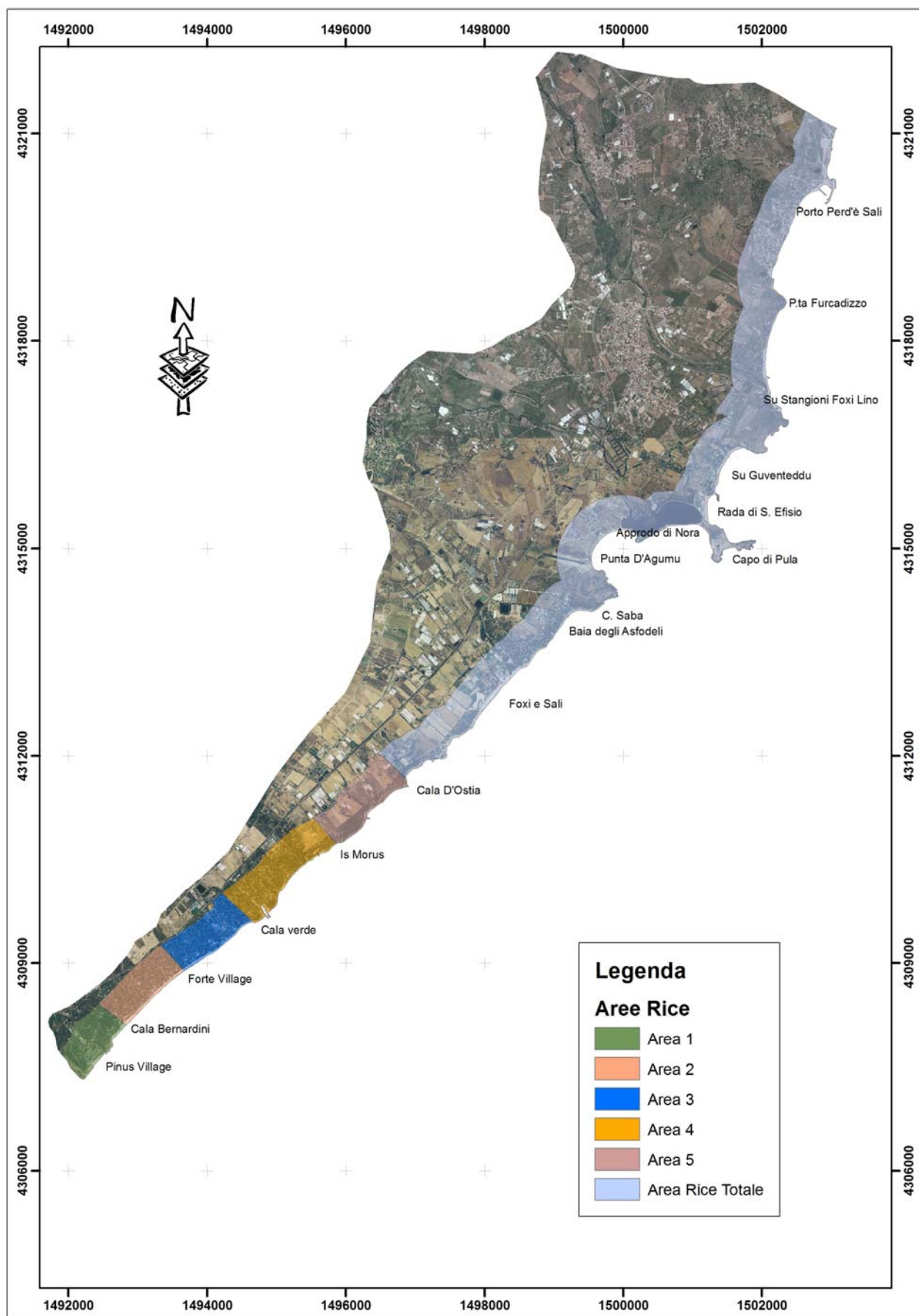


Figura 56. Individuazione dei tratti costieri in cui è stata suddivisa l'area RICE.

GEC è funzione del potenziale d'erosibilità della fascia costiera ed è stato calcolato nel paragrafo 5.1.1.1 in base al tipo di litologia presente a ridosso della fascia costiera.

A_{RICE}, la percentuale di area suscettibile all'inondazione marina all'interno dell'area di RICE è stata calcolata per ogni tratto di costa considerato utilizzando i dati derivati dal DEM, precedentemente realizzato sulla base della CTR, e il dato del parametro HWL.

ODC, riferito alla percentuale di costa antropizzata, è stato calcolato in base all'uso della costa così come descritto nel paragrafo 8.1.1.4.

P_{RICE}, la popolazione residente all'interno dell'area RICE, è stata calcolata considerando i dati ISTAT dei residenti (2001) e dei fluttuanti (1998), da cui si sono determinate le densità abitative che moltiplicate, per le superfici della *RICE*, si è determinato il numero di abitanti di ogni singola *RICE*.

U_{RICE}, la percentuale di area urbanizzata nel periodo 1997-2006 nell'area *RICE*, è stata calcolata in riferimento all'analisi storica della variazione dell'uso del suolo così come descritto nel paragrafo 3.3.

E_{RICE}, la percentuale di area ad alto valore ecologico nell'area RICE, è stata stimata in base al *dataset* definiti nel capitolo 6, relativo alla definizione dei Paesaggi vegetali e agli habitat di particolare interesse ai sensi della Direttiva Habitat.

U_{10km}, la percentuale di incremento di area urbanizzata nella fascia costiera di 10 km nel periodo 1997 – 2006, è stato calcolato visionando la cartografia storica utilizzata per la realizzazione del *dataset* dell'uso del suolo storico (paragrafo 3.3).

10.4 Valutazione del rischio costiero

10.4.1 Area 1 Pinus Village - Cala Bernardini

L'area è geologicamente caratterizzata dall'affioramento dei graniti ercinici, già trattati nei capitoli relativi al *dataset* della geologia, e dall'affioramento di depositi di versante e colluvi in matrice sabbiosa del Pleistocene medio e superiore e del Quaternario.

Morfologicamente si osserva la presenza di un piccolo promontorio granitico che suddivide la costa in due parti, un piccolo corpo di spiaggia nella parte di Pinus Village e un'altra piccola

spiaggetta nei pressi di Cala Bernardini. In quest'ultima subzona sfocia anche il canale Su Baracconi, proprio al contatto tra i depositi di versante e i graniti.

Il territorio presenta un basso grado di urbanizzazione, infatti è presente solo l'agglomerato turistico di Pinus Village, peraltro abbastanza integrato visivamente nel contesto circostante. Le infrastrutture consistono in alcune strade secondarie che conducono all'insediamento turistico alle piccole spiagge limitrofe.

L'uso del suolo, come si deduce dalla specifica cartografia, è prettamente di tipo gariga, macchia alta, macchia mediterranea e tessuto residenziale rado.

10.4.2 Area 2 Cala Bernardini - Forte Village

La seconda zona in esame, è compresa tra la Cala Bernardini e il complesso turistico del Forte Village. La litologia affiorante è data dai depositi di versante e colluvi in matrice sabbiosa del Pleistocene medio e superiore. Altri piccoli affioramenti sono dati dagli stessi graniti ercinici, e da alcune aree di Formazione del Cixerri.

I depositi di versante sono caratterizzati da poca compattezza e resistenza all'erosione per via della scarsa cementazione e della facile disaggregabilità. Essi costituiscono molte delle ripe di arretramento poste nel limite interno del corpo di spiaggia, nelle quali sono ben visibili vari solchi di erosione causati dall'energia delle mareggiate.

Morfologicamente, la peculiarità è data dalla presenza del corpo di spiaggia emersa di Santa Margherita, il quale si estende in lunghezza per circa 2 chilometri e in ampiezza per circa 30 metri.

La zona è fortemente urbanizzata per via della presenza di numerosi villaggi turistici denominati "comunioni" e di alcuni hotel: i villaggi si presentano in un assetto assai ordinato e sono separati da strade private parallele le quali dalla strada statale 195, si dipartono perpendicolarmente e giungono fino alla spiaggia. Questa struttura territoriale è ben distinguibile dalla Carta Tecnica Regionale, nonché dalle foto aeree.

Le destinazioni d'uso del suolo sono costituite da tessuto residenziale rado e nucleiforme, a carattere residenziale e suburbano, pineta, macchia bassa, campeggi, aree sportive e strutture turistiche e, ovviamente, da spiaggia.

10.4.3 Area 3 Forte Village - porticciolo di Cala Verde

Questo tratto di costa, peraltro poco esteso in lunghezza, si estende dalle strutture del complesso turistico del Forte Village al porticciolo di Cala Verde.

Le litologie affioranti sono date dai depositi di versante e dai colluvi in matrice sabbiosa del Pleistocene medio e superiore, e da un esteso affioramento di Formazione del Cixerri proprio in prossimità della linea di riva, specialmente nei pressi del molo sinistro del porticciolo. In questa zona la litologia predominante è sicuramente quella del Cixerri che, in corrispondenza dei banchi

arenacei, presenta una resistenza all'erosione sicuramente maggiore rispetto ai colluvi pleistocenici.

I lineamenti morfologici consistono nella presenza del corpo di spiaggia, il quale risulta il tratto finale della spiaggia di Santa Margherita, che all'approssimarsi dell'affioramento della Formazione del Cixerri, diventa sempre meno ampio, come si evince anche dalle foto aeree e dalle misure effettuate.

Il grado di urbanizzazione, sempre in un contesto turistico - residenziale, è sempre abbastanza elevato, ma in misura minore rispetto alla situazione descritta prima. Qui gli agglomerati si presentano in un assetto meno rigido e ordinato, ma in una distribuzione più caotica. E' comunque da notare la presenza del grande complesso alberghiero del Forte Village che con le sue numerosissime presenze all'anno rappresenta un'unità insediativa di rilevante interesse economico, sebbene a carattere stagionale.

Le infrastrutture sono costituite dalle solite strade minori che conducono agli insediamenti turistici e dall'infrastruttura portuale di Cala Verde, ricavato nella foce del Rio Perdosu. Il porticciolo in questione è una grande fonte di rischio ambientale, in quanto, con la presenza dei due moli, ha interrotto l'equilibrio nel processo erosivo/sedimentario e nel long-shore, creando una situazione di erosione in entrambi i suoi lati.

L'uso del suolo dell'area consiste principalmente in spiaggia, macchia bassa, area portuale, tessuto residenziale rado e nucleiforme a carattere residenziale e suburbano e campeggi, aree sportive e strutture turistiche.

10.4.4 Area 4 porticciolo di Cala Verde - Is Morus

L'area, che si protende da Cala Verde fino all'albergo Is Morus è caratterizzata dall'affioramento, in buona parte, dei depositi di versante e colluvi in matrice sabbiosa pleistocenici e da un grande affioramento della Formazione del Cixerri, proprio nei pressi dell'albergo Is Morus, il quale è interamente costruito proprio su queste arenarie. Naturalmente questi litotipi presentano anche qui le stesse caratteristiche geomeccaniche della situazione precedentemente descritta.

L'area maggiormente vulnerabile è quella alla sinistra del porticciolo di Cala Verde, dove le ripe di erosione, alte mediamente intorno ai 2 metri, sono direttamente a picco sul mare, in quanto l'erosione è qui elevatissima anche e soprattutto a causa del porticciolo. Sono visibili i blocchi e i ciottoli elaborati che vengono scalzati e vanno a formare una sorta di spiaggetta ciottolosa totalmente impraticabile per le dimensioni dei blocchi e della stessa spiaggia. Questa situazione prosegue per circa 600 metri fino a quando si nota un corpo di spiaggia sabbioso compreso tra le ripe in questione e un promontorio costituito dalle arenarie della Formazione del Cixerri. Da questo promontorio fino all'albergo Is Morus, si diparte la spiaggia di Is Morus, ampia mediamente 15 metri.

La zona si presenta con un grado di urbanizzazione ancora inferiore a quello precedente, ma comunque abbastanza consistente, sebbene assai più diradato.

Il suolo della zona in esame è adibito a spiaggia, strutture ricettive e tessuto residenziale rado e aree sportive e ricreative.

10.4.5 Area 5 Is Morus - Torre di Cala d'Ostia

La geologia dell'area, compresa tra l'Albergo Is Morus e la Torre di Cala d'Ostia, consiste essenzialmente nella presenza dei soliti depositi di versante pleistocenici, da conglomerati di ciottoli elaborati in matrice sabbiosa arrossata e da un affioramento di andesiti nei pressi della Torre di Cala d'Ostia. Le litologie qui presenti sono le medesime dell'area precedente, tranne le andesiti che affiorano soltanto in questo tratto. In questo tratto sono presenti anche delle ripe di erosione presenti, alte fino a 3 metri, sono tutte ad alto rischio erosivo in quanto è totalmente assente il corpo di spiaggia nella loro adiacenza che fungerebbe invece da protezione e da rallentamento naturale dell'energia nei confronti dell'erosione. Sono presenti piccoli corpi di spiaggia una volta superato l'albergo Is Morus. Nei pressi della Torre l'erosione marina è, tuttavia, rallentata dalla presenza di alcuni terrazzi di abrasione marina modellati sulle vulcaniti. Al di sotto del promontorio e per una lunghezza di almeno 300 metri è possibile osservare, ai piedi delle ripe, la presenza di grossi blocchi andesitici originati dalla disgregazione della stessa roccia affiorante, oltre che ciottoli eterometrici derivanti dall'erosione delle ripe stesse.

E' da evidenziare anche la presenza della foce del Rio Mesao, a circa 150 metri dall'albergo Is Morus al cui sbocco è presente una piccola spiaggia ciottolosa.

Questa zona è decisamente meno urbanizzata di tutte le precedenti e non presenta quasi tracce di antropizzazione se si fa eccezione per la struttura alberghiera Is Morus, la struttura ricettiva del Camping Cala d'Ostia e la presenza di svariate serre.

Il suolo è adibito a spiaggia, serre, strutture alberghiere e ricettive e tessuto residenziale rado.

10.4.6 Risultati della valutazione del rischio costiero

L'erosione costiera è spesso il risultato dell'impatto cumulato di fattori naturali e antropici, che singolarmente non possono essere considerati la causa del verificarsi del fenomeno erosivo. La quantificazione del rischio effettuata in tale studio non esprime pertanto una stima meramente numerica del danno atteso, ma rappresenta una valutazione quantitativa della presenza di fattori causa-effetto relativi ad eventi potenzialmente a rischio per la costa.

La quantificazione degli indicatori necessari al calcolo del rischio costiero è stata effettuata sia per l'intero tratto di costa in esame, sia per alcune porzioni di essa, al fine di confrontare i valori ottenuti per l'intera area di studio con i valori di rischio ottenuti per singoli tratti scelti con

riferimento a caratteristiche territoriali ed ambientali omogenee (vedi Figura 57, Figura 58 e Figura 59).

Il rischio calcolato è stato inoltre confrontato con il valore ottenuto nell'ambito del progetto EUROSION per l'intera costa sarda.

Si riportano di seguito le tabelle relative agli indicatori calcolati per i diversi tratti di costa descritti sopra:

Tratto costiero	SLR	SLR-I	TEV	TEV-I	HWL	HWL-I	GEC	GEC-I	Arice	Arice-I	ODC	ODC-I	ISC
	mm/a	punti	%	punti	m s.l.m.	punti	%	punti	%	punti	%	punti	punti
Area di studio	0,5	1	48	1	1,5	1	32	2	9	1	65	2	8
Area 1	0,5	1	40	1	1,5	1	72	0	2,5	0	3	0	3
Area 2	0,5	1	22	1	1,5	1	16	2	7	1	32	1	7
Area 3	0,5	1	83	2	1,5	1	15	2	7	1	82	2	9
Area 4	0,5	1	47	1	1,5	1	27	2	2	0	58	2	7
Area 5	0,5	1	67	2	1,5	1	3	2	4	0	5	1	7

Tabella 34. Tabella degli indicatori di sensitività per i tratti di costa analizzati.

Tratto costiero	Price	Price-I	Urice	Urice-I	Erice	Erice-I	U10km	U10km-I	IVC
	ab	punti	%	punti	%	punti	%	punti	
Area di studio	28000	1	34	1	20	1	10	1	4
Area 1	800	1	28	1	52	2	10	1	5
Area 2	5963	2	88	2	11	1	2	0	5
Area 3	7162	2	93	2	1	0	5	1	5
Area 4	9287	2	81	2	3	0	10	1	5
Area 5	200	0	7	0	5	1	3	0	1

Tabella 35. Tabella degli indicatori di vulnerabilità per i tratti di costa analizzati.

Tratto costiero	IRC	Esposizione al rischio
Area di studio	32	Media
Area 1	15	Bassa
Area 2	35	Media
Area 3	45	Alta
Area 4	35	Media
Area 5	7	Bassa

Tabella 36. Tabella del rischio calcolato secondo la metodologia del progetto EUROSION.

Dai risultati ottenuti risulta che il tratto a maggior rischio costiero è quello dell'area 3, che presenta i valori più elevati sia per l'indice di sensitività sia per l'indice di vulnerabilità. In particolare, gli indicatori che sono significativi per il maggiore valore di rischio sono l'alta urbanizzazione e l'alta percentuale di costa instabile.

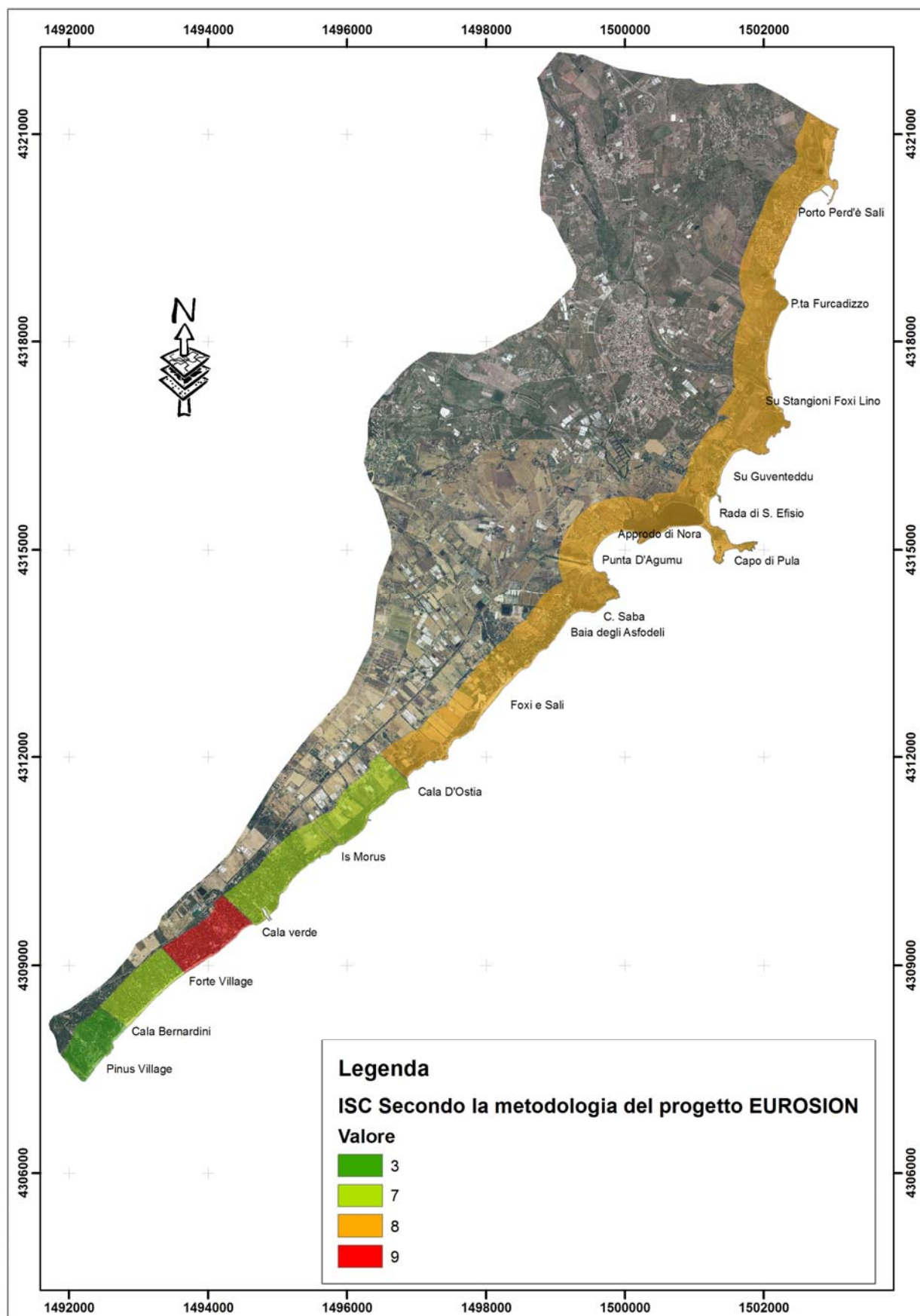


Figura 57. Carta della sensibilità costiera valutata secondo la metodologia del progetto EUROSION.

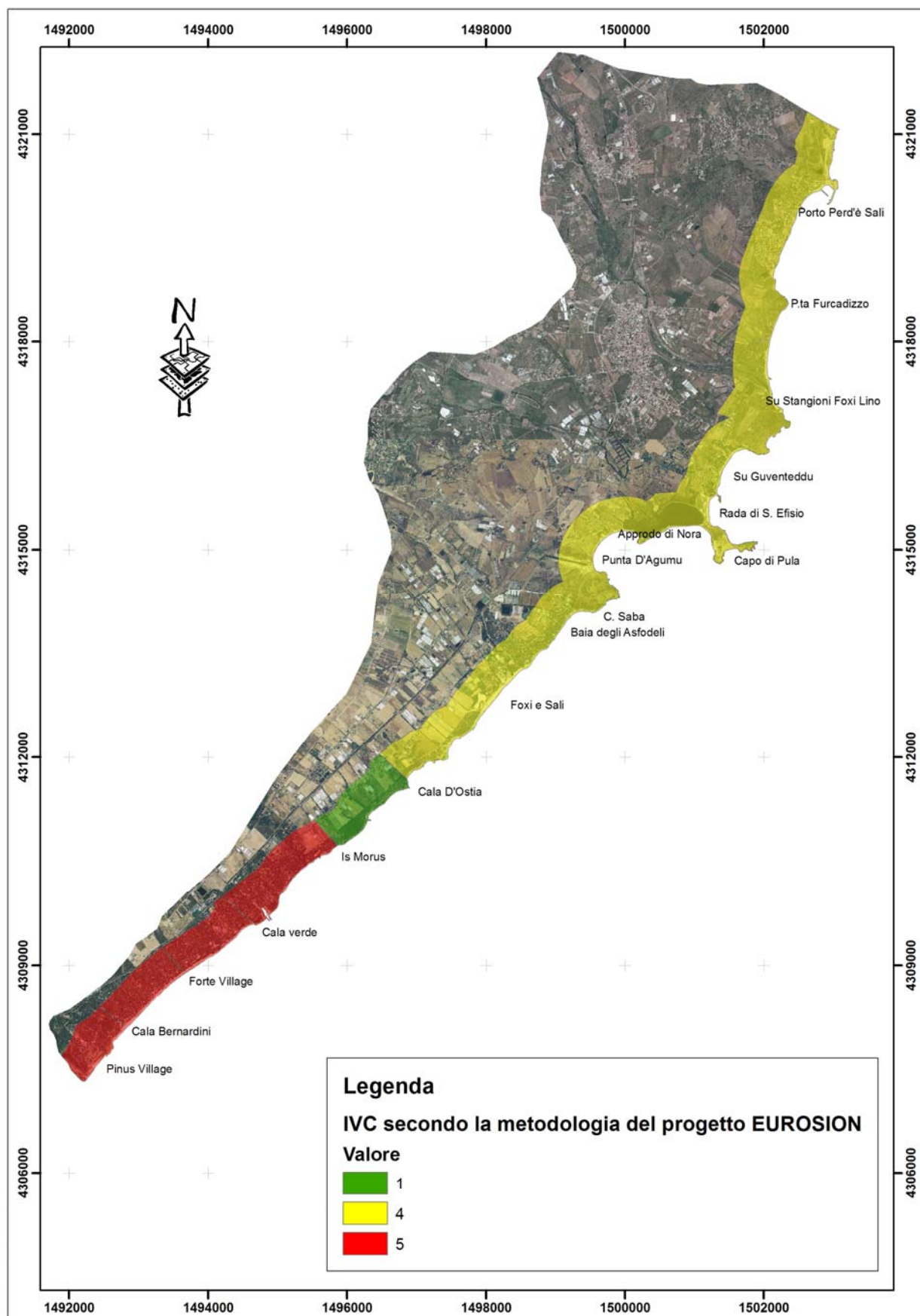


Figura 58. Carta della vulnerabilità costiera valutata secondo la metodologia del progetto EUROSION.

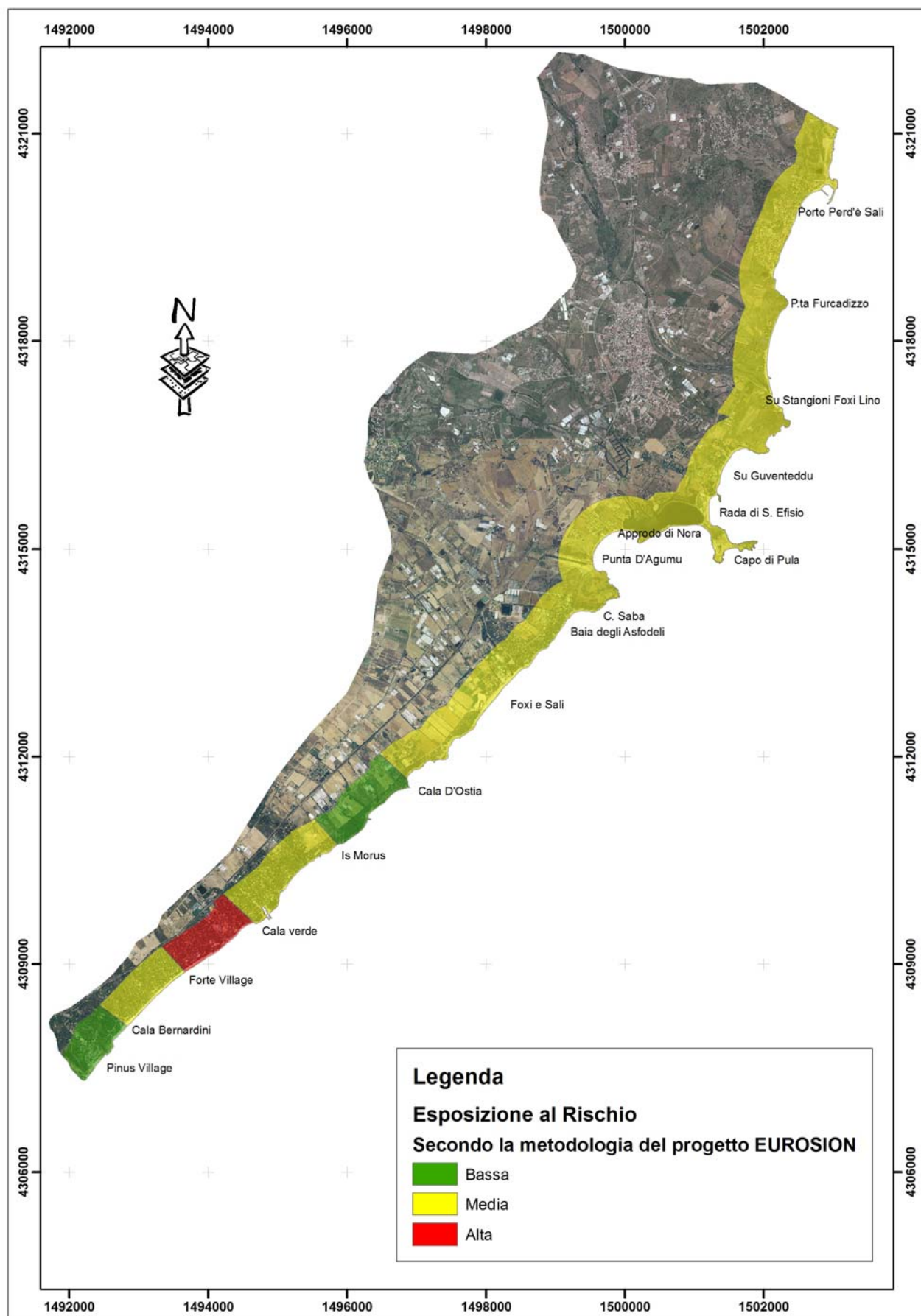


Figura 59. Valutazione del rischio costiero secondo la metodologia del progetto EUROSION.

Le aree 2 e 4 presentano lo stesso valore degli indici di sensitività e di vulnerabilità, e quindi di rischio, ad indicare il fatto che le caratteristiche ambientali e di pressione antropica sono molto simili nei due tratti di costa in questione.

Le aree 1 e 5 presentano invece dei valori di rischio bassi, la prima per via del basso punteggio ottenuto per l'indice di sensitività e la seconda per via del basso valore dell'indice di vulnerabilità.

L'area 1 infatti presenta una fascia costiera con un potenziale di erodibilità basso per via della presenza dei graniti e una percentuale di ingegnerizzazione della costa molto bassa.

L'area 5 invece, con il suo basso valore dell'indice di vulnerabilità costiera, per via della sua bassa antropizzazione, conserva un uso della costa di carattere naturalistico.

Il calcolo del rischio per l'intero tratto costiero fornisce un valore medio rispetto ai valori ottenuti per i singoli tratti, dimostrando la validità della metodologia per applicazioni a diverse scale di analisi.

Il valore di rischio definito per l'intero territorio regionale dal Progetto EUROSION è quantificabile come medio ed è simile al valore ottenuto per l'intera area in esame.

In conclusione, si può ritenere che il valore di rischio costiero per il territorio dell'area studio è generalmente medio, mentre nel dettaglio si ottiene un rischio alto esclusivamente per l'area 3 e un rischio basso per le aree 1 e 5.

11 Conclusioni

L'erosione costiera può essere considerata come il risultato di un impatto cumulato di una serie di fattori di origine naturale e antropica che operano a differenti scale temporali e spaziali e in genere nessuno di essi può essere considerato singolarmente come causa determinante del fenomeno erosivo.

In molte aree costiere i problemi correlati all'erosione sono ulteriormente aggravati dalle attività umane e i tratti del litorale interessati da interventi antropici stanno progressivamente riguardando sia le coste sabbiose sia le falesie. L'urbanizzazione, tra i fenomeni antropici, ha pertanto trasformato l'erosione costiera da fenomeno naturale a problema di intensità sempre crescente negli ultimi anni. In questo contesto, la carenza di sedimenti marini costieri, conseguente al prevalere di condizioni che portano ad un bilancio sedimentario deficitario, e la riduzione di spazi di libero dominio dei processi naturali determina una situazione di "stress costiero".

Il presente studio, che riguarda il settore costiero della Sardegna Sud-occidentale nel tratto compreso tra Pinus Village e Porto Columbu, è stato condotto mediante l'applicazione di metodologie di indagine territoriale finalizzate alla comprensione, alla valutazione e alla rappresentazione quantitativa dei fenomeni geoambientali, osservati e studiati, di origine naturale o influenzati dalle attività antropiche.

Strumento fondamentale del lavoro svolto è stato il Sistema Informativo Territoriale, realizzato al fine di poter operare, mediante software GIS e con operazioni di analisi spaziale, su dati inerenti i caratteri fisici, ambientali e antropici al fine di individuare la pericolosità naturale e la vulnerabilità del litorale studiato. L'archiviazione e la gestione delle varie informazioni in un database geografico relazionale consente il continuo aggiornamento e adattamento dinamico dei modelli applicati alle variazioni spazio - temporali che caratterizzano l'area studio; inoltre consente lo sviluppo di applicazioni per la valutazione quantitativa previsionale del rischio costiero in relazione ad iniziative di pianificazione o anche a variazioni di destinazione d'uso del territorio.

Nello specifico, la ricerca verte sulle tematiche legate al rischio di erosione costiera dell'area presa in considerazione, inteso in questo caso come insieme di processi, cause e conseguenze di fenomeni naturali connessi all'intervento antropico.

Le diverse fasi operative della ricerca hanno visto la catalogazione in *datasets* di tutte le informazioni di base e di rappresentazione degli aspetti naturali e antropici del territorio analizzato; sono state inoltre individuate, attraverso rilievi sul campo, analisi di laboratorio e successive elaborazioni, le caratteristiche geologiche, idrogeologiche, sedimentologiche, morfometriche, di uso del territorio nei diversi anni, nonché l'evoluzione della linea di riva negli ultimi quaranta anni.

Successivamente, sono stati selezionati e applicati moduli GIS orientati e modelli matematici per la creazione di dati geografici di sintesi con i quali sono state quantificate e localizzate nello spazio le informazioni derivate dall'analisi numerica e cartografica. Sono state pertanto analizzate e sintetizzate, in un *database* geografico derivato, le problematiche di rischio ambientale secondo i seguenti obiettivi:

- studio e analisi della pericolosità costiera, connessa a fenomeni di natura ambientale, mettendo in evidenza il legame che esiste tra l'uso del suolo e i processi naturali che si rilevano nel territorio indagato;
- studio e analisi della vulnerabilità per mezzo di metodologie innovative e applicazioni informatiche.

Dalle indagini effettuate si è potuto rilevare che l'area di studio è stata interessata in alcuni settori da forte antropizzazione e, di conseguenza, da intensa pressione di fruizione, che spesso sono state causa di un uso inappropriato e non sostenibile del territorio, con conseguente aumento della pericolosità e della vulnerabilità ambientale.

Dall'analisi della Carta dell'uso del suolo, che nel presente studio è stata dettagliata mediante la definizione di ulteriori classi rispetto alla legenda della *CORINE Land Cover* della Regione Sardegna, si evince che nell'unità fisiografica della piana costiera di Pula la maggior parte del territorio è caratterizzato da aree agricole per una percentuale del 56%, mentre i territori boscati e gli ambienti seminaturali occupano circa il 20%. Il dato più significativo è quello dei territori modellati artificialmente, che in quest'area sale fino al 20%, notevolmente superiore alla media regionale, pari al 2,8%. La restante parte del territorio, circa il 2%, è occupata dai corpi idrici e territori umidi. E' importante notare che le spiagge e le coperture dunari ricoprono circa il 1%, dell'area esaminata.

E' stata inoltre condotta un'analisi storica relativamente alla variazione dell'uso del suolo tra gli anni 1885, 1950/60, 1997 e 2006, al fine di identificare le trasformazioni subite dal passaggio in riferimento ai fenomeni di carattere sia ambientale sia socio-economico che possono aver interessato l'area di studio.

Analizzando le trasformazioni dell'uso del suolo, si osserva in primo luogo l'incremento notevole delle aree antropizzate negli ultimi 40-50 anni.

La superficie delle aree agricole subisce invece un incremento nel periodo 1885-1997, mentre è interessata da un decremento nell'ultimo decennio. Per contro, le aree boscate e gli ambienti naturali, interessati da una riduzione di superficie nell'arco del periodo 1885-1997, aumentano nell'ultimo decennio. Tale trend si può presumibilmente spiegare considerando che l'abbandono delle attività agricole dell'ultimo decennio porti come conseguenza un aumento delle aree incolte e a ricolonizzazione naturale.

La Carta dell'Uso del suolo è stata lo strumento di base con cui sono state condotte ulteriori analisi e interpretazioni, tra cui la redazione della carta dei Paesaggi Vegetali e la carta degli Habitat di interesse per la conservazione della biodiversità.

Dall'esame della Carta dei paesaggi vegetali risulta che l'area in esame presenta una varietà di ambienti vegetali notevole, che vanno da quelli costieri delle spiagge e degli stagni, ai residui di boscaglia ripariale lungo il Rio Pula e gli altri corsi d'acqua, sino ai lembi di macchia-boscaglia delle zone collinari. Queste ultime, laddove risultano più soggette all'antropizzazione, mostrano vari stadi della degradazione che vanno dalla macchia alta, alla macchia bassa fino alla gariga e al pascolo.

L'interesse naturalistico della zona di studio ha portato di recente all'istituzione di forme di tutela ambientale e paesaggistica, tra cui la designazione dei Siti di Interesse Comunitario "*Sa Tanca e Sa Mura – Foxi Durci*" e "*Tra Forte Village e Perla Marina*", così come dell'Oasi permanente di protezione e cattura di Santa Margherita".

Il Piano Paesaggistico Regionale, che nasce con l'intento di disciplinare i processi di trasformazione fisica e l'uso del territorio regionale, prevede un progetto di riqualificazione del paesaggio per l'ambito in cui ricade l'area di studio, considerando fondamentali la riorganizzazione dei livelli di relazione paesaggistica, le relazioni tra le piane costiere e il sistema ambientale del massiccio del Sulcis, tra la direttrice storica della strada statale sulcitana e la trama agricola. Tra i vari indirizzi che il Piano fornisce per l'area di studio, si cita in particolare quello di "*riqualificare la fascia costiera mediante una gestione unitaria e integrata tra esigenze della fruizione e problemi di erosione dei litorali, dei processi di dissesto idrogeologico dei sistemi fluviali, degrado della biodiversità, attraverso interventi rivolti a riequilibrare le dinamiche di relazione ecosistemica a scala di rete, attraverso l'eliminazione delle cause di criticità e l'organizzazione di interventi volti alla risoluzione dei problemi in un quadro di organicità sistemica a scala territoriale*".

Al fine di poter favorire l'adeguamento degli strumenti urbanistici locali al PPR e una corretta gestione integrata e sostenibile della fascia costiera in esame, quale fondamentale obiettivo per una regione che ripone nel turismo molte delle proprie attese di sviluppo economico e sociale, l'implementazione del sistema informatico geografico di base, effettuato nel presente studio, ha permesso di realizzare una banca dati ambientale di grande potenzialità e flessibilità per la raccolta, l'analisi e la correlazione di un considerevole numero di informazioni. Tali informazioni possono essere restituite attraverso mappe tematiche e attributi, agevolmente visualizzabili in tabelle e grafici, che costituiscono strumenti di base sia per poter ricostruire le linee dei trend evolutivi, sia per poter usufruire di una conoscenza indispensabile per la gestione dell'ambiente costiero, consapevoli delle scelte da operare in fase gestionale.

Per l'applicazione di metodi e modelli relativi alla valutazione della *carrying capacity* e del rischio geoambientale della fascia costiera, l'intero litorale è stato suddiviso in segmenti omogenei

corrispondenti a tipi fisiografici ad ognuno dei quali è associata una tabella di attributi comprendenti diverse informazioni, relative alla geologia, morfologia, tessitura dei sedimenti, uso della costa, uso antropico dei compendi sabbiosi, evoluzione della linea costa e altre. Si sono successivamente descritte le diverse spiagge del litorale, valutandone le caratteristiche fisiche (lunghezza, larghezza, ecc.), la qualità ambientale, il rischio di degrado e definendone successivamente la *carrying capacity*, attraverso l'adozione di uno specifico coefficiente di carico, secondo i dati di letteratura, diverso in base ai caratteri naturali specifici di ogni singolo arenile.

Da questa analisi è emerso che l'area ha una elevata pressione di fruizione turistica e necessita di urgenti attenzioni, in modo da preservarne l'equilibrio ambientale.

Le indagini condotte hanno dimostrato che la linea di costa ha subito nel tempo gli impatti collegati al ciclo dell'erosione che, per le cinture sabbiose, comprende le tre fasi dell'erosione vera e propria e quelle del trasporto e del deposito dei sedimenti. Il ciclo si determina in rapporto con la dinamica della colonna d'acqua sulla quale agiscono le onde, le maree, le correnti costiere, i fenomeni climatici e geodinamici ordinari ed i cambiamenti globali. Come altrove, le dinamiche di ciclo sono state favorevoli, nel lungo termine, alla fase di deposito ed accrescimento delle cinture costiere sabbiose fino alla metà del XX secolo. La tendenza, invece, si sta invertendo per effetto delle pressioni antropiche e dei cambiamenti del livello del mare conseguenti all'effetto serra.

Per poter osservare le variazioni della linea di riva negli anni compresi tra il 1968 e 2006 sull'intero litorale è stato svolto uno studio che ha previsto in primo luogo il recupero e la valutazione delle carte catastali e delle foto aeree storiche, successivamente la loro elaborazione informatica e infine l'analisi dei dati elaborati che ha permesso di stimare quantitativamente lo stato di evoluzione del litorale negli ultimi 40 anni.

Dall'elaborazione dei dati raccolti si evince che sui 27 Km di litorale studiato, circa il 30 % ha subito una regressione generalizzata di circa 10 – 20 metri. Inoltre, se si osserva il trend evolutivo della linea di costa emerge che i tratti costieri rocciosi sono stabili, mentre le singole spiagge presentano un'evoluzione disomogenea.

Le spiagge che presentano uno stato di avanzamento sono quelle di Pinus Village e Riva dei Pini, mentre le altre presentano principalmente uno stato erosivo, o di equilibrio.

Nell'ottica di uno studio delle dinamiche idrogeologiche che interessano la terraferma e condizionano in misura notevole l'andamento evolutivo della linea di costa, la quantificazione dell'erosione nei bacini idrografici ricopre un ruolo di base per la determinazione dei bilanci sedimentari delle aree costiere. Infatti, sono spesso gli interventi antropici applicati al territorio a determinare condizioni favorevoli per l'erosione accelerata del suolo; la degradazione della copertura vegetale causata da incendi, la sostituzione di aree ricoperte da vegetazione spontanea o boscate con aree coltivate, il sovrappascolamento e le lavorazioni inadeguate, creano una situazione di scarsa protezione superficiale dei suoli generalmente offerta dalla vegetazione. Al

contrari, gli interventi di sistemazione idraulico-forestale e idrogeologica e la costruzione di invasi artificiali determinano un brusco calo del trasporto solido alla foce.

Nel bilancio sedimentario delle differenti unità fisiografiche individuate ai fini dello studio dell'andamento delle linee di riva, un apporto fondamentale è rappresentato dal carico di materiali che i corsi d'acqua presenti raccolgono lungo il loro percorso e che recapitano al mare.

Per determinare il valore di quest'ultimo, nel presente studio è stato utilizzato il modello multiparametrico di Gavrilovic per poter stimare l'apporto sedimentario nella spiaggia di Santa Margherita come insieme delle spiagge di Pinus Village, Riva dei Pini, Perla Marina e Forte Village, determinando una quantità totale media annua di sedimenti prodotti all'interno dei tre bacini pari a 2374,85 mc.

Come già detto, l'erosione costiera è spesso il risultato dell'impatto cumulato di fattori naturali e antropici, che singolarmente non possono essere considerati la causa del verificarsi del fenomeno erosivo. La quantificazione del rischio attraverso modelli effettuata in questo studio non esprime pertanto una stima meramente numerica del danno atteso, ma rappresenta una valutazione quantitativa della presenza di fattori causa-effetto relativi ad eventi potenzialmente a rischio per la costa. La metodologia utilizzata per la quantificazione del rischio costiero nel territorio dell'area di studio si basa sull'elaborazione di indicatori utilizzati nell'ambito del progetto EUROSION.

La quantificazione degli indicatori necessari al calcolo del rischio costiero è stata effettuata sia per l'intero tratto di costa in esame, sia per alcune porzioni di essa, al fine di confrontare i valori ottenuti per l'intera area di studio con i valori di rischio ottenuti per singoli tratti scelti con riferimento a caratteristiche territoriali ed ambientali omogenee. Il rischio calcolato è stato inoltre confrontato e correlato con il valore ottenuto nell'ambito del progetto EUROSION per l'intera costa sarda.

Dai risultati ottenuti risulta che il tratto a maggior rischio costiero è quello dell'area compresa tra il forte Village e il porticciolo di Cala verde, dove gli indicatori risultati più significativi per il maggiore valore di rischio sono l'alta urbanizzazione e l'alta percentuale di costa instabile.

L'area compresa tra Pinus Village e Cala Bernardini presenta una fascia costiera con un potenziale di erodibilità basso per via della presenza dei graniti e una percentuale di ingegnerizzazione della costa molto bassa, garantendo dunque un valore di rischio inferiore rispetto agli altri ambienti costieri analizzati. Anche l'area compresa tra l'albergo Is Morus e Torre di Cala d'Ostia presenta una bassa vulnerabilità costiera per via della sua bassa antropizzazione e un uso della costa di carattere naturalistico che determinano un basso valore di rischio.

Il calcolo del rischio per l'intero tratto costiero fornisce complessivamente un valore che si attesta sulla media rispetto ai valori ottenuti per i singoli tratti, dimostrando la validità della metodologia per applicazioni a diverse scale di analisi.

Anche il valore di rischio definito per l'intero territorio regionale dal Progetto EUROSION è quantificabile come medio ed è simile al valore ottenuto per l'intera area in esame.

In questo contesto, considerata la situazione in atto, parallelamente alle raccomandazioni che scaturiscono a livello europeo, risulta necessario un approccio strategico e previsionale dell'erosione costiera, al fine di garantire lo sviluppo sostenibile delle zone costiere vulnerabili e la conservazione della biodiversità. In particolare, risulta opportuno aumentare la resilienza costiera mediante iniziative atte a ripristinare il bilancio sedimentario costiero e creare spazi utili alla fisiologica erosione costiera in modo da permettere lo svolgimento dei normali processi sedimentari costieri.

Dai risultati ottenuti nel presente studio, appare necessario proporre per l'area in esame una gestione integrata della zona costiera, intesa come processo dinamico di gestione e di fruizione sostenibile, che tenga in debito conto sia della sensibilità e della delicatezza ecosistemica e paesaggistica, sia delle attività e degli usi, con particolare riferimento ai loro impatti sul sistema costiero e sul litorale prospiciente. Tale gestione integrata dovrà essere basata su un approccio globale che valuti la fascia costiera come un'unica entità, tenendo conto dell'interazione ed interdipendenza tra la parte marina e la parte terrestre e conseguentemente anche dei possibili usi e della capacità di carico turistico ammissibile.

In considerazione del fatto che il litorale in esame presenta delle aree in sensibile degrado, dovuto soprattutto alla forte antropizzazione, si ritiene possibile proporre, per le spiagge e le coste un'organizzazione della fruizione e una regolamentazione degli accessi, in modo tale da assicurare la conservazione per le future generazioni tenendo conto comunque delle esigenze di sviluppo turistico, economico e sociale della popolazione locale interessata alla valorizzazione delle potenzialità turistiche esistenti.

Al momento attuale, i problemi dell'area analizzata sono legati alla limitata durata della stagione turistica e all'elevata concentrazione della frequentazione di alcune piccole spiagge che ne mette a rischio l'integrità e le qualità ambientali. Per questo motivo si deve cercare, con tutti i mezzi gestionali e promozionali, di riqualificare alcuni tratti costieri poco utilizzati ed estendere la stagione turistica ai mesi primaverili ed autunnali, ampliando il richiamo turistico anche alle altre valenze naturali e culturali presenti nel territorio mediante la realizzazione di centri visita e di una rete di itinerari per la fruizione corretta dei beni naturali e culturali presenti nel territorio interno e montano, ma anche la creazione di "sentieri blu", di scuole di vela e *diving center* e la rivitalizzazione di attività tradizionali.

Nei tratti costieri maggiormente soggetti ai fenomeni erosivi, si pone anche l'esigenza di intervenire con ripascimenti mirati all'alimentazione della spiaggia mediante idoneo materiale di riporto ben assortito e ben adattato nelle sue caratteristiche minero-petrografiche e

sedimentologiche, finalizzati a stabilizzare ed ampliare la stessa, dato che una spiaggia di dimensioni adeguate costituisce una valida difesa anche per l'entroterra.

Per questo è necessario predisporre da subito un rigoroso piano di monitoraggio della fascia costiera, anche con l'uso di web-cam, che costituisca un riferimento essenziale per la progettazione degli interventi di riqualificazione ambientale e di gestione sostenibile della fascia costiera.

12 Bibliografia

AA. VV. 1980 Excursion – table ronde tyrrhenien de Sardaigne, INQUA Commission des Lignes de rivage Sous – Commission Méditerranée – Mer Noire, 88 pag.

AA.VV 1982 Raccomandazioni tecniche per la protezione delle coste CNR Pubbl. n° 156.

ALESSIO M., ALLEGRI L., ANTONIOLI F., BELLUOMINI G., IMPROTA S., MANFRA L., PREITE MARTINEZ M. (1998) - La Curva di risalita del mare Tirreno negli ultimi 43 ka ricavata da datazioni su speleotemi sommersi e dati archeologici. *Memorie Descrittive Carta Geol. d'Italia*, 52: 261-276.

ARBA P., ARISCI A., DE WAELE J., DI GREGORIO F., FERRARA C., FOLLESA R., PIRAS G., PRANZINI E. (2002) - Environmental impact of artificial nourishment of the beaches of Cala Gonone (Central-East Sardinia). VI International Conference Littoral 2002, The Changing Coast, Eurocoast/EUCC, Porto 22-26 september 2002, Vol. 3: 465-468.

ARISCI A., DE WAELE J., DI GREGORIO F. (2000) - Natural and Scientific Valence of the Gulf of Orosei Coast (Central-East Sardinia) and its Carrying Capacity with Particular Regard to the Pocket-Beaches. *Period. Biol.*, 102, suppl.1: 595-603.

ARISCI A., DE WAELE J., DI GREGORIO F., FERRUCCI I., FOLLESA R., PIRAS G. (2002) - Proposta di un modello di sviluppo sostenibile per le spiagge e le aree costiere dell'Isola di Sant'Antioco (Sardegna SO, Italia). *Studi Costieri* 5: 59-75.

ARITZU A.; CAULI A.; DI GREGORIO F.; PUSCEDDU M - Il Sistema Informativo e la Carrying Capacity della costa di Pula (Sardegna SW). Atti della 9° Conferenza Nazionale ASITA – Catania, 15-18 Novembre 2005

ARU A., BALDACCHINI P., VACCA A., in collaborazione di: G. DELOGU, M. A. DESSENA, S. MADRAU, R.T. MELIS, S. VACCA - Carta dei suoli della Sardegna – scala 1:250.000 Cagliari 1991.

ASSORGIA A., FADDA A., GIMENO D., MORRA V., OTTELLI L. & SECCHI F.A. 1990 Le successioni ignimbriche terziarie del Sulcis (Sardegna sud-occidentale) – *Mem. Soc. Geol. It.* 45 951 –963.

ATZENI A., DE MURO S., DI GREGORIO F., PIRAS G. (1998) Carta del rischio ambientale nelle coste della Sardegna, scala 1:250.000. Atti dei Convegni Lincei "Il rischio idrogeologico e la tutela del suolo", Roma.

BARBERI F., CHERCHI A. (1980) - Excursion sur le Mésozoïque et le Tertiaire de la Sardaigne occidentale. C.N.R., Progetto finalizzato Geodinamica, 345: 115.

BARCA S CARMIGNANI L., CONTI P., ELIRUDIS A., FUNEDDA A., OGGIANO G., SALVATORI I., 2001 Geologia della Sardegna: Note illustrative della Carta Geologica della Sardegna scala 1:200.000.

BARCA S. & COSTAMAGNA L. G. (2000) – Il bacino paleogenico del Sulcis-Iglesiente (Sardegna SW): nuovi dati stratigrafico-strutturali per un modello geodinamico nell'ambito dell'orogenesi pirenaica. *Boll. Soc. Geol. It.*: 497-515.

BARCA S., DI GREGORIO F. (1974) Aspetti della degradazione del suolo in Sardegna. Atti Conv. Naz. "Politica Regionale dell'Ambiente, metodologie di intervento e di gestione", Firenze.

BARCA S., DI GREGORIO F., FLORIS C., MONTIS M., (1996) –Rilevamento e valutazione dei monumenti e delle aree di rilevante interesse geologico e geomorfologico nei Monti del Sulcis in "Studi di geografia e storia in onore di Angela Terrosu Asole". Deputazione di Storia Patria della Sardegna.

BARCA S., DI GREGORIO F., PALMERINI V. (1981) Linea di costa pleistocenica nella piana di San Priamo(Sardegna sud-orientale) –Boll. Soc. Geol. It., 100.

BARCA S., FARCI G., FORCI A. (1998) - I depositi sinorogenetici ercinici del Sulcis (Sardegna sud-occidentale). Boll. Soc. Geol. It. 117: 407-419.

BARCA S., MAXIA C. & PALMERINI V. 1974 Sintesi sulle attuali conoscenze relative alla Formazione del Cixerri (Sardegna sud-occidentale) Boll. Serv. Geol. It.94: 307 – 318.

BARCA S., PALMERINI V. (1973) – Contributo alla conoscenza degli ambienti di sedimentazione relativi alla "Formazione del Cixerri" (Sardegna sud-occidentale). Boll. Soc. Sarda Sci. Nat. 12:13-50.

BECCALUVA L., LEONE F., MACCIONI L., MACCIOTTA G.P. (1981) - Petrology and tectonic setting of the palaeozoic basic rocks from Iglesias-Sulcis. (Sardinia, Italy). N. Jb. Miner. Abh.140:184-201.

BECCALUVA L., CIVETTA L., MACCIOTTA G.P., RICCI C.A. (1985) – Geochronology in Sardinia: results and problems. Rend Soc. It. Min. Petr. 40: 57-72.

BLANC A.C. (1938) - Spiaggia fossile tirreniana presso Porto Torres. Atti Soc. Toscana Sci. Nat. 47: 40-45.

BERRY J.K. (1993) Beyond mapping: concepts, algorithms and issues in GIS; John Wiley Publishers, Hoboken, NJ.

BERRY J.K. (1995) Spatial reasoning for effective GIS; John Wiley Publishers, Hoboken, NJ.

BIALLO G. (2002) Introduzione ai sistemi informativi geografici; ed. MondoGIS, Roma.

BOCCALORO F. (2006) Difesa del territorio e ingegneria naturalistica; ed. Dario Flaccovio Editore s.r.l., Palermo.

BONICELLI & VARDABASSO S. (1971 – 1972) Geomorfologia delle coste del Sulcis (Sardegna SW).

BONI M., COCCOZZA T., GANDIN A. & PERNA G. 1981 Tettonica, sedimentazione e mineralizzazioni delle brecce al bordo sud-orientale dellapiattaforma carbonatica cambrica (Sulcis, Sardegna) Mem. Soc. Geol. It 22: 111 – 122.

BRALIA A., GHEZZO C., GUASPARRI G., SABATINI G. (1981) - Aspetti genetici del batolite sardo-corso. Rend. Soc. It. Min. Petr. 38: 701-764.

CARMIGNANI L., BARCA S., CAPPELLI B., DI PISA A., CATTIGLIO M., OGGIANO G. & PERTUSATI P.C. 1992 A tentative geodynamic model for the Hercynian basement of Sardinia

CARMIGNANI L., COCCOZZA T., GHEZZO C., PERTUSATI P.C. & RICCI C.A. (1982) Guida alla Geologia del Paleozoico Sardo Guide Geologiche Regionali. Società Geologica Italiana, 1 – 215

CARMIGNANI L., COCCOZZA T., GHEZZO C., PERTUSATI P.C. & RICCI C.A. 1982 Lineamenti del basamento sardo

CASTIGLIONI G.B. 1986 *Geomorfologia* UTET, Torino 384 pag

CARBONI S., LECCA L., LEONE F., ULZEGA A. (1979) – La piattaforma continentale occidentale della Sardegna Boll. Soc. Geol. It. 108

CAROSI R. & PERTUSATI P.C. (1990) Evoluzione strutturale delle unità tettoniche erciniche nella Sardegna centro-meridionale Boll. Soc. Geol. It. 109: 325 – 335

CAROSI R., PERILLO M., PERTUSATI P. C., GATTIGLIO M., (1995) - Risultati preliminari dello studio strutturale del Sulcis meridionale (Sardegna SW). Atti soc. tose. Sc. Nat. Mem. Serie A. 102.

CE (2007) Vivere con l'erosione costiera in Europa: Sedimenti e spazi per la sostenibilità. Risultati dello studio EUROSION.

CE (2004) EUROSION - Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability.

CHERCHI A. (1985) – 19th European Micropaleontological Colloquium Guide-Book, AGIP, Sardinia 1-10 Oktober 1985: 1-338.

CHERCHI A., MARINI A., MURRU M. & ULZEGA A. 1978 Movimenti neotettonici nella Sardegna meridionale Mem. Soc. Geol. It. 19 : 581 – 587

CHERCHI A., MONTADERT L., (1982) - Il sistema di rifting oligo-mioceneco del Mediterraneo occidentale e sue conseguenze paleogeografiche sul terziario sardo. Mem. Soc. Geol. It., 24 (1982), 387 – 400

CHERCHI M.A., MONTADERT L., CASULA G., SARRIA E., MURRU M. (2002) - The Oligo-Miocene Rift of Southern Sardinia, Italy. In: Cherchi A., Corradini C., Putzu M.T. (Eds.), 2002, Sardinia Field Trip - Palaeontology & Stratigraphy, Rend. Soc. Paleont. Ital., 1: 275-280.

CICCACCI S., FREDI P., LUPIA PALMIERI E., PUGLIESE F. (1980) Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali; Boll. Soc. Geol. It..

COCOZZA T., CONTI L., COZZUPOLI D., LOMBARDI G., SCHARBERT S. & TRAVERSA G. (1977) - Rb/Sr age and geopetrologic evolution of crystalline rocks in southern Sulcis (Sardinia). N. Jb. Geol. Palaont. Mh.: 95-102.

COCOZZA T., JACOBACCI A., NARDI R. & SALVADORI I. (1974) - Schema stratigrafico-strutturale del Massiccio Sardo-Corso e minerogenesi della Sardegna. Mem. Soc. Geol. It. 13: 85-186.

COCOZZA T. & LEONE F. 1977 Sintesi della successione stratigrafica paleozoica della Sardegna sud-occidentale Escursione in Sardegna 1977: risultati e commenti (a cura di G.B. Vai), GLP, 2-1977, Suppl 15-23.

CONTI L., COZZUPOLI D., & TRAVERSA G. 1972 Contributo alla conoscenza del Cambriano metamorfico della Sardegna meridionale. II: Le contattiti andalusitico-cordieritiche nell'aureola di Domus de Maria Per. Min., 41.

CORONA A., DE WAELE J., DI GREGORIO F., FERRUCCI I., PALA A., Trasformazione del paesaggio nella piana costiera di Pula (Sardegna SW) nell'ultimo secolo, Atti della VII Conferenza Nazionale ASITA, 2003.

CORONA A., DE WAELE J., DI GREGORIO F., FERRUCCI I., PALA A., Costruzione di un CIS (Coastal Information System) per la pianificazione territoriale e la VAS, Atti della VII Conferenza Nazionale ASITA, 2003.

D'ACQUINO C., MANDRONE S., VICINI C. (2007) Trend e mappatura del rischio lungo le coste italiane secondo la metodologia del progetto EUROSION. Cambiamenti Climatici - Conferenza Nazionale 2007.

DA SILVA C. P. (2002) Beach Carrying Capacity Assessment: How important is it? Universidade Nova de Lisboa.

DE BONIS P., FATTORUSO G., ONORI F., PAGANO A., PASANISI F., PELOSO A., REGINA P., TEBANO C., ZARLENGA F. (2001) La Dinamica Costiera - Modellistica fisico matematica, analisi del territorio, il supporto GIS e la strumentazione in uso; ENEA; CAT.

DI FIDIO (1991) 300 pag.

DEBRENNE F. (1972) - Nouvelle faune d'Archéocyathes de Sardaigne. Ann. De Paléontologie (Invertébrés) 58: 12-22.

DELAPERRIERE E., LANCELOT J. (1989) - Datation U-Pb sur Zircons de l'orthogneiss du Capo Spartivento (Sardaigne, Italie), nouveau témoin d'un magmatisme alcalin ordovicien dans le Sud de l'Europe. C.R. Acad. Sci. Paris 309: 835-842.

DI GREGORIO F. (1975) - Geologia, geomorfologia, tendenze evolutive dei versanti e principali fenomeni di dissesto idrogeologico nella Sardegna Centrale. Atti Conv. Intern. della A.N.L.S.B., in "Biologia Contemporanea" Anno II, Roma.

DI GREGORIO F. & ALTRI (1987) Trasporto solido di un corso d'acqua a regime torrentizio e caratteristiche dei sedimenti della spiaggia alimentata. Il Rio di Quirra (Sardegna sud-orientale). 1° Congresso internazionale di geoidrologia - Firenze.

DI GREGORIO F. & ALTRI (1987) Evoluzione della pianura costiera del Rio di Quirra (Sardegna sud-orientale) e dinamica della spiaggia prospiciente. Mem. Soc. Geol. It..

DI GREGORIO F. Criteri e metodi per la conoscenza e la conservazione attiva dell'ambiente da Cultura del paesaggio e metodi del territorio (a cura di F. Clemente).

DI GREGORIO F., PUSCEDDU M., SERRELI A. Modello per la valutazione della pericolosità geomorfologia nel bacino del Rio Pula. Atti della 10° Conferenza Nazionale ASITA - Bolzano, Novembre 2006

FAIS S. - FERRARA C. (1981), - The sediments of the coastal plain of Rio Pula (Southern Sardinia) Atti Ist. Min. Geol., 1, pp.151-183

FERRARA G., RICCI C.A., RITA F. (1978) - Isotopic ages and tectono-metamorphic history of the metamorphic basement of north-eastern Sardinia. Contr. Min. Petr.: 68: 99-106.

FLORIS C.(1994) Rilevanento dei monumenti geologici e geomorfologici del Sulcis Sud – Orientale
Tesi di laurea inedita.

GANDIN A. (1987) - Depositional and paleogeographic evolution of the Cambrian in South-West Sardinia. I.G.C.P. n°5 Newsletter 7: 151-165.

GAVRILOVIC S. (1959) – Méthode de la classification des bassins torrentiels et équations nouvelles pour le calcul des hautes eaux et du débit solide, Vadopriveda,Belgrado.

GHEZZO C., ORSINI J.B. (1982) - Lineamenti strutturali e composizionali del batolite ercinico Sardo-Corso in Sardegna. In: Carmignani L., Cocozza T., Ghezzo C., Pertusati P.C., Ricci C.A. (Eds.), Guida alla Geologia del Paleozoico Sardo. Società Geologia Italiana, Guide Geologiche regionali: 165-182.

GISOTTI G., BENEDINI M. (2000) Il dissesto idrogeologico – Previsione, prevenzione e mitigazione del rischio; ed. Carocci editore, Roma.

GISOTTI G., ZARLENGA F. (2004) Geologia Ambientale - principi e metodi; ed. Dario Flaccovio Editore s.r.l., Palermo.

GORTANI M. (1922) - Dintorni di Cagliari. Boll. Soc. Geol. It. 41: 312.

GRAZZINI G. (1996) Rilevamento geomorfologico del settore costiero compreso tra Capo Spartivento e Is Morus Tesi di laurea inedita.

ISSEL A. (1914) - Lembi fossiliferi quaternari e recenti osservati nella Sardegna meridionale dal prof. Lovisato. Rend. Acc. Lincei 5a, 23: 759-770.

JUNKER B., SCHNEIDER H.H. (1979) - L'fracambriano della Sardegna sud-occidentale. Mem. Soc. Geol. It. 20: 461.

JUNKER B., SCHNEIDER H.H. (1983) - The Infracambrian Bithia Formation: Its facies development in Southwest Sardinia. N. Jhrb. Geol. Palaeont. Mh. 24: 369-384.

LANDO F., BERTAZZON S. (2000) GIS e paesaggio: dalla scomposizione dei paesaggi reali alla creazione di paesaggi virtuali in: M.L. Gazerro (a cura di), Itinerari multimediali nel paesaggio italiano, Universitàdegli Studi di Padova, Padova.

MAGUIRE D.J. (1991) AN OVERVIEW AND DEFINITION OF GIS; IN MAGUIRE D.J., GOODCHILD M.F., RHIND D.W.,Geographical Information Systems-vol. 1, Longman, Londra.

MAXIA M. (1984) Segnalazione di potenti successioni carbonifere marine della Sardegna meridionale. Rend. Soc. Geol. It. 6

MAXIA C., PECORINI G. (1968) - Il Quaternario della Sardegna. Atti X Congresso Intern. Studi Sardi: 59-69.

MASSOLI NOVELLI R., 1968 Studio geo-petrografico dell'area vulcanica di Sarroch-Pula (Cagliari) Rend. Sem. Fac. Sc. Univ. Cagliari 38: 203 - 212

MASSOLI NOVELLI R. & PALMERINI V. 1970 Studio mineralogico e sedimentologico di alcune litofacies sedimentarie delle zone di Sarroch, Pula e del Cixerri (Sardegna sud-occidentale) Rend. Sem. Fac. Sc. Univ. Cagliari XL, Bologna.

- MINZONI N. (1981) - Il Precambriano del Sulcis meridionale (Sardegna). *Mineralogica et Petrographica Acta* 24: 51-56.
- MONTIGNY R. EDEL J.B., THUIZAT R. (1981) – Oligo-Miocene rotation of Sardinia: K-Ar ages and paleomagnetic data of Tertiary volcanics. *Earth Planet. Sci. Lett.* 54: 261-271.
- MURRU M. & SALVADORI A. (1987) *Ricerche stratigrafiche sul bacino paleogenico del Sulcis* Geologica romana, 26, Roma
- OZER A. PASKOFF R., SANLAVILLE P., ULZEGA A. (1980) - Essai de correlation du Pleistocène supérieur de la Sardaigne et de la Tunisie. *C.R.Acad. Sci. Paris* 291, D: 801-804.
- PALMERINI V. & PALMERINI SITZIA R., 1978 Le facies pelitiche della Formazione di Nebida (Cambriano inf. Sardo). *Boll. Soc. Geol. It.* 97: 57 -71
- PANIZZA M., 1988 *Geomorfologia applicata* N.I.S. Roma
- PECORINI G. (1954) - Le dune fossili della Nurra di Alghero. *Rend. Acc. Lincei* 8a, 16: 735-741.
- PECORINI G., POMESANO CHERCHI A. (1969) - Ricerche geologiche e biostratigrafiche sul Campidano meridionale. *Mem. Soc. Geol. It.* 8: 421-451.
- PERNICE G. E PATTI I.: Mogeifaco - Un GIS esperto per la gestione integrata della fascia costiera, *GEOMedia*, n. 4 Novembre 2006, pagg. 26-29, 2006.
- PERNICE G., PATTI I., VITABILE S., MACCARRONE V., IALUNA R., LA BELLA G., TITONE A., PERNICE V., GANCITANO P., MICALIZZI R. MOGEIFACO Un modello 'esperto per la gestione integrata della fascia costiera. *Atti della 9° Conferenza Nazionale ASITA – Catania, 15-18 Novembre 2005, volume II, pagg. 1633-1638, 2005.*
- PERNICE G., PATTI I., VITABILE - GIS e Metodi di Computazione Intelligente per la Sostenibilità Costiera. *Atti della 10° Conferenza Italiana Utenti ESRI . Roma 2007.*
- PILLOLA G.L. (1991) - Trilobites du Cambrien inférieur du SW de la Sardaigne, Italie. *Palaeontol. Ital.* 78: 1-173.
- PILLOLA G.L., GROSS U. (1982) - Stratigrafia del Membro di Matoppa della Formazione di Nebida (Cambriano inferiore) nell'area Monte San Giovanni-Monte Uda. In: Carmignani L., Cocozza T., Ghezzo C., Pertusati P.C., Ricci C.A. (Eds.), *Guida alla Geologia del Paleozoico Sardo*. Società Geologia Italiana, *Guide Geologiche regionali*: 79-82.
- PITTAU DEMELIA P. (1979) - Palinologia e datazione della sezione di Tanca Aru nella Valle del Cixerri (Sardegna sud-occidentale). *Boll. Soc. Paleont. It.* 18: 303-314.
- POLL J.J.K & ZWART M.J (1964) On the tectonics of the Sulcis area sud Sardinia *Geol. Minjnbouw* j 43
- POMPEI M. et al (1997) *Relazione geologica del PUC di Pula*. 20 pag.
- RASETTI F. (1972) - Cambrian Trilobite faunas of Sardinia. *Atti Acc. Naz. Lincei, Mem. Cl. Sci. Fis. Mat. & Nat.* 11: 1-100.

REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA Modelli territoriali sostenibili per gli spazi litoranei del Mediterraneo Iniziativa Comunitaria Interreg II C

REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA (2003) Norme di attuazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico.

REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA (2003) Carta dell'uso del suolo - scala 1:25.000 – Note Illustrative.

REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA (2003) Carta dell'uso del suolo alla scala 1:25.000.

RICCI LUCCHI F. (1980) *Sedimentologia* CLUEB, Bologna 250 pag.

SAVELLI C., BECCALUVA L., DERIU M., MACCIOTTA G.P., MACCIONI L. (1979) – K/Ar Geochronology and evolution of the tertiary calco-alkaline volcanism of Sardinia (Italy). *Journ. Volc. Geotherm. Research* 5: 257-269.

SCHARBERT S. (1978) - Supplementary remarks on Rb/Sr age and geopetrologic evolution of crystalline rocks in Southern Sulcis (Sardinia). *N. Jb. Geol. Palaont. Mh.*: 59-64.

SERPAGLI E. (1982) Le conoscenze paleontologiche del paleozoico sardo *Soc. Geol. It*

STRAHLER (1970), 280 pag

TARICCO M. (1928) Il cambriano del Sulcis *Ass. Min. Sarda* 33 *Geol. Iglesias*

ULZEGA A. (1995) Geomorphology and stratigraphy of late Quaternary. *Rend. Sem. Fac. Sc. Univ. Cagliari*, suppl. Vol.65

ULZEGA A. (2002) - Panchina Tirreniana Auct. and Tyrrhenian Stage in Sardinia. In: Cherchi A., Corradini C., Putzu M.T. (Eds.), 2002, *Sardinia Field Trip - Palaeontology & Stratigraphy*, *Rend. Soc. Paleont. Ital.*, 1: 353-354.

ULZEGA A., OZER A. (1982) - Etat de connaissances sur le Tyrrhénien en Sardaigne avant l'excursion table-ronde: *Comptes-Rendus de l'Excursion-Table-Ronde sur le Tyrrhénien de Sardaigne*, *INQUA*, Avril 1980: 17-46.

ZEMLJIC, M. (1971) – Calcul du débit solide – Evaluation de la végétation comme un des facteurs antiérosif, *International Symposium Interpraevent*, Villaco.

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare tutti coloro che hanno contribuito direttamente e indirettamente alla realizzazione di questo studio.

In particolare desidero ringraziare Il Prof. Felice Di Gregorio per il costante aiuto, per avermi insegnato una metodologia di lavoro e per avermi indirizzato nella ricerca e ad un continuo miglioramento dimostrandosi oltre che professore maestro di vita.

Il dott. Andrea Serreli per la costante collaborazione ed i continui consigli e aiuti nel campo della ricerca grazie ai quali ho potuto arricchire il mio bagaglio professionale, non dimenticando la grande amicizia.

Monica per il prezioso aiuto prima che scientifico morale.

Il dott.geol. Alessia Aritzu e Il dott.geol. Alessandra Cauli per l'amicizia e per la disponibilità dimostrata.

Il Dott.geol. Claudia Dessy e Ing. Silvia Lallai